



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08255932 A**(43) Date of publication of application: **01 . 10 . 96**

(51) Int. Cl. **H01L 33/00**  
**H01L 21/205**  
**H01L 21/3065**  
**H01S 3/18**

(21) Application number: **08007048**(22) Date of filing: **19 . 01 . 96**(30) Priority: **19 . 01 . 95 JP 07 6405**(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**

(72) Inventor: **KAMIYAMA SATOSHI**  
**SUZUKI MASAKATSU**  
**UENOYAMA TAKESHI**  
**ONAKA SEIJI**  
**TAKAMORI AKIRA**  
**MANNOU MASAYA**  
**KIDOGUCHI ISAO**  
**ADACHI HIDETO**  
**ISHIBASHI AKIHIKO**  
**FUKUHISA TOSHIYA**  
**KUMABUCHI YASUHIITO**

(54) **SEMICONDUCTOR LIGHT EMISSION ELEMENT  
 AND FABRICATION THEREOF**

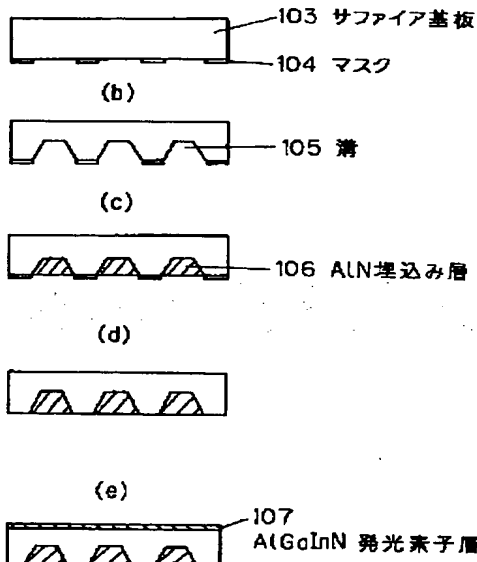
COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(a)

## (57) Abstract:

**PURPOSE:** To obtain a semiconductor laser having low threshold current value by imparting strain anisotropically into a specified axial plane of an active layer of a hexagonal compound semiconductor.

**CONSTITUTION:** The semiconductor element employs a III-V compound semiconductor, i.e., an AlGaInN based material, as a hexagonal compound semiconductor. Strain is introduced in parallel with the face (c). In other words a mask 104 is formed in stripe, on one major surface of a sapphire substrate 103. A groove 105 is then made, in stripe, using the mask 104 and an etching liquid of hot sulfuric acid, for example. Furthermore, a layer 106 filled with AlN is grown selectively only in the groove 105 using a material of AlN, for example, and the mask 104. Consequently, coefficient of thermal expansion is distributed in the thickness direction and a uniaxial strain can be generated in the substrate when crystal growth of AlGaInN emission layer is effected at high temperature of 1000°C or above.



THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-255932

(43) 公開日 平成8年(1996)10月1日

(51) IntCl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 33/00			H 0 1 L 33/00	C
21/205			21/205	
21/3065			H 0 1 S 3/18	
H 0 1 S 3/18			H 0 1 L 21/302	J

審査請求 未請求 請求項の数59 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平8-7048

(22) 出願日 平成8年(1996)1月19日

(31) 優先権主張番号 特願平7-6405

(32) 優先日 平7(1995)1月19日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 上山 智

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 鈴木 政勝

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 上野山 雄

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 滝本 智之 (外1名)

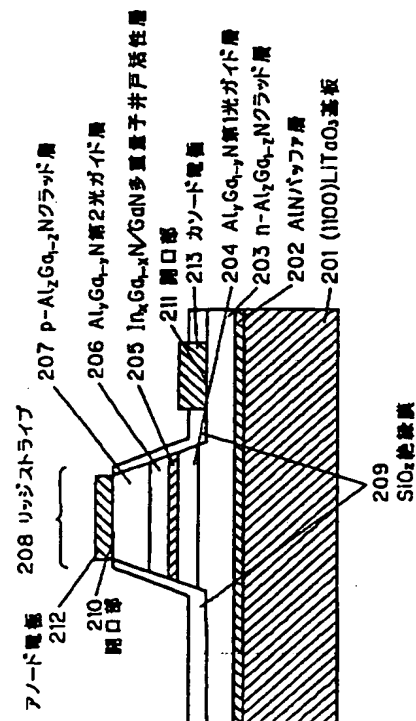
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 しきい値電流の小さい半導体レーザを提供する。

【解決手段】  $\text{LiTaO}_3$  基板201上に  $\text{AlN}$  層202、 $n\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  層203、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  第1光ガイド層204、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$  多重量子井戸活性層205、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  第2光ガイド層206、 $p\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  クラッド層207を連続的に形成する。エッチングによりリッジストライプ208を形成し、 $\text{SiO}_2$  絶縁膜209を堆積した後、電流注入のために  $\text{SiO}_2$  絶縁膜209に開口部210および211を形成する。最後にアノード電極212およびカソード電極213を形成する。このウルツ鉱型  $\text{InGaN}/\text{AlGaIn}$  量子井戸半導体レーザを構成する層構造は組成、材料により成長温度が異なる場合が多いが、 $800\sim 1100^\circ\text{C}$  の範囲で作製される。したがって成長終了後に室温に戻された結晶には基板との熱膨張係数差によって歪が発生する。この歪により、半導体レーザのしきい値電流が小さくなる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 c軸方向に成長させた活性層を有し、前記活性層が六方晶化合物半導体であり、かつ、前記活性層のc面内に、等方的でない歪が入っている半導体発光素子。

【請求項2】 六方晶化合物半導体である活性層をc軸方向に成長させる工程を有し、前記活性層は前記c面内に等方的でない歪が入るよう成長されている半導体発光素子の製造方法。

【請求項3】 前記六方晶化合物半導体がウルツ型構造である請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項4】 前記六方晶化合物半導体が4H型構造である請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項5】 前記六方晶化合物半導体が6H型構造である請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項6】 前記等方的でない歪が1軸性歪である請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項7】 前記等方的でない歪がせん断歪である請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項8】 半導体基板と、  
該半導体基板の一主面に形成されたストライプ状の溝と、  
該半導体基板の他の主面に形成された半導体発光素子層とを、有する半導体発光素子。

【請求項9】 前記半導体基板はサファイアから形成されており、  
前記半導体発光素子層がウルツ鉱型の $Al_xGa_yIn_zN$  (但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ ) から形成されている請求項8記載の半導体発光素子。

【請求項10】 前記ストライプ状の溝中に前記半導体基板とは熱膨張係数の異なる材料が埋め込まれている請求項8記載の半導体発光素子。

【請求項11】 前記半導体基板がサファイアから形成されており、前記熱膨張係数の異なる材料が $Al_xGa_yIn_zN$  (但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ ) から形成されている請求項10記載の半導体発光素子。

【請求項12】 半導体基板の一主面にストライプ状の溝を形成する工程と、  
前記半導体基板の他の主面に発光素子構造を成長する工程と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項13】 半導体基板の一主面にストライプ状のマスクを形成する工程と、  
該マスクを用い、選択的にエッチングを行う工程と、  
該マスクを用い該半導体基板の材料と熱膨張係数の異なる材料を選択的に堆積する工程と、  
該半導体基板の他の主面に発光素子構造を成長する工程と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項14】 半導体基板と、  
該半導体基板の一主面に形成されたストライプ状部材とあって、該半導体基板とは熱膨張係数の異なる材料から

形成された部材と、  
該半導体基板の他の主面に形成された半導体発光素子層と、を備えた半導体発光素子。

【請求項15】 半導体基板の一主面に、該半導体基板とは熱膨張係数の異なる材料からなるストライプ状部材を形成する工程と、  
該半導体基板の他の主面上に発光素子構造を成長する工程と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項16】 半導体基板の一方の面に発光素子構造を成長する工程と、  
300℃以上の温度にて、該半導体基板とは熱膨張係数の異なる材料からなるストライプ状部材を該半導体基板の他方の面に形成する工程と、  
を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項17】 半導体基板の一主面に発光素子構造を成長する工程と、  
ストライプ状に該半導体基板とは熱膨張係数の異なる材料からなるストライプ状部材を該半導体基板の他方の面に形成する工程と、

20 該半導体基板を500℃以上の温度で熱処理する工程と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項18】 半導体基板と、  
該半導体基板の一主面に形成された第一の金属と、  
該第一の金属上に形成されたストライプ状の第二の金属と、  
該半導体基板上に形成された発光素子構造と、を備えた半導体発光素子。

【請求項19】 前記第一及び第二の金属の上に形成された第三の金属を更に備えている請求項17に記載の半導体発光素子。

【請求項20】 前記半導体基板がSiCから形成されており、前記第一の金属がNiから形成されている請求項18に記載の半導体発光素子。

【請求項21】 半導体基板の一主面に発光素子構造を成長する工程と、  
該半導体基板の他の主面に第一の金属を堆積する工程と、  
該第一の金属上にストライプ状の第二の金属を堆積する工程と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

40 【請求項22】 表面の形状が円柱表面の曲面の一部である物体上に半導体基板を密着させる工程と、  
該半導体基板上に発光素子構造を成長する工程と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項23】 主面を有する基板と、  
該基板上に形成されたウルツ鉱型 $AlGaInN$ 系化合物半導体とを備えており、  
該基板は、その熱膨張係数が該主面内で異方性を持つ材料から形成されている半導体発光素子。

50 【請求項24】 前記基板が、非線形光学結晶から形成されている請求項23に記載の半導体発光素子。

【請求項25】前記基板は、 $\text{LiTaO}_3$  (1100) 面基板である請求項23に記載の半導体発光素子。

【請求項26】前記基板は、 $\text{LiTaO}_3$  (1120) 面基板である請求項23に記載の半導体発光素子。

【請求項27】主面を有する基板と、該基板上に形成されたウルツ鉱型 $\text{AlGaInN}$ 系化合物半導体とを備えており、

該基板は、該主面内の第1の方向の熱膨張係数が前記ウルツ鉱型 $\text{AlGaInN}$ 系化合物半導体の熱膨張係数よりも大きく、該第1の方向に直行する第2の方向の熱膨張係数が、該ウルツ鉱型 $\text{AlGaInN}$ 系化合物半導体の熱膨張係数よりも小さい材料から形成されている半導体発光素子。

【請求項28】基板は、 $\text{LiTaO}_3$ の(1100)面から(0001)方向に傾斜した方位の基板である請求項27に記載の半導体発光素子。

【請求項29】基板は、 $\text{LiTaO}_3$ の(1120)面から(0001)方向に傾斜した方位の基板である請求項27に記載の半導体発光素子。

【請求項30】成長温度から室温に冷却したときに発生する熱歪が基板面内のある方向と、それと直行する方向との合計が零となるウルツ鉱型 $\text{AlGaInN}$ 系化合物半導体から形成された半導体発光素子。

【請求項31】基板は、 $\text{LiTaO}_3$ の(1100)面から(0001)方向に傾斜した方位の基板である請求項30に記載の半導体発光素子。

【請求項32】基板は、 $\text{LiTaO}_3$ の(1120)面から(0001)方向に傾斜した方位の基板である請求項30に記載の半導体発光素子。

【請求項33】ウルツ鉱型化合物半導体から形成された活性層と、

該活性層を挟む一対のキャリア閉じ込め層と、該一対のキャリア閉じ込め層の格子定数と異なる格子定数を持つストライプ状の歪導入層と、を備えた半導体発光素子。

【請求項34】ウルツ鉱型 $\text{AlGaInN}$ 系化合物半導体から成る請求項33に記載の半導体発光素子。

【請求項35】ダブルヘテロ構造を有する半導体発光素子を異方性結晶上に配置する工程と、

100℃以上で該半導体発光素子を該異方性結晶上に固定する工程と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項36】異方性結晶が強誘電体から形成されている請求項35に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項37】前記異方性結晶が六方晶から形成されており、前記半導体発光素子を(0001)面に垂直な面上に装荷する請求項35に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項38】前記半導体発光素子の材料はウルツ鉱型の $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$  (但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ )であり、前記異方性結晶が $\text{LiTaO}_3$

3または $\text{LiNbO}_3$ から形成されている請求項35に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項39】ダブルヘテロ構造を有する半導体発光素子をバイメタル上に配置する工程と、

100℃以上で該半導体発光素子を該バイメタル上に固定すること工程と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項40】半導体発光素子の材料がウルツ鉱型の $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$  (但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ )であり、バイメタルが $\text{Fe-Ni}$ 合金と $\text{Mn-Cu-Ni}$ 合金、または $\text{Fe-Ni}$ 合金と $\text{Fe-Ni-Mn}$ 合金から構成される請求項39に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項41】ダブルヘテロ構造を有する半導体発光素子をサブマウント上に配置する工程と、

該半導体発光素子に上面、または側面から応力を加える工程と、

該半導体発光素子と該サブマウントとを固定する工程とを有することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項42】半導体発光素子とサブマウントの固定に樹脂を硬化させる工程を有することを特徴とする請求項41に記載の半導体発光素子の製造方法。 萬濃

【請求項43】段差を施した基板上に $\text{AlGaInN}$ 系ダブルヘテロ構造を形成してなる半導体発光素子の製造方法であって、

$\text{AlGaInN}$ 薄膜上に少なくとも2つのストライプ溝を設けることによりメサ構造を形成する工程と、

前記2つのストライプ溝を含め全表面に $\text{AlGaInN}$ 系ダブルヘテロ構造を含む多層薄膜を形成し、かつ前記メサ構造の平坦面上と傾斜面上の $\text{AlGaInN}$ 混晶組成を異なるものとする工程と、を含むことを特徴とする $\text{AlGaInN}$ 系半導体発光素子の製造方法。

【請求項44】段差を施した基板上に $\text{AlGaInN}$ 系ダブルヘテロ構造を形成してなる半導体発光素子の製造方法であって、

$\text{AlGaInN}$ 薄膜上にストライプ溝を設けることにより凹溝構造を形成する工程と、

前記ストライプ溝を含め全表面に $\text{AlGaInN}$ 系ダブルヘテロ構造を含む多層薄膜を形成し、かつ前記凹溝構造の平坦面上と傾斜面上の $\text{AlGaInN}$ 混晶組成を異なるものとする工程と、を含むことを特徴とする $\text{AlGaInN}$ 系半導体発光素子の製造方法。

【請求項45】基板上に、窒化物化合物半導体に選択的にレーザ光線を照射しながら気相成長させ、照射部と非照射部との格子定数を異ならせる工程を有することを特徴とする窒化物系化合物半導体の製造方法。

【請求項46】選択的にレーザ光線を照射しながら窒化物系化合物半導体を気相させ、照射部と非照射部との格子定数を異ならせる工程と、

前記成長温度よりも高い温度で窒化物系化合物半導体を

気相成長する工程と、を含むことを特徴とする窒化物系化合物半導体の製造方法。

【請求項47】基板と、

前記基板上に積層し、前記基板に平行な面の面積が前記基板より小さい第一クラッド層と、

前記第一クラッド層上に積層し、前記基板に平行な面の面積が前記第一クラッド層より大きく、前記第一クラッド層と格子定数の異なる結晶により構成される第二クラッド層と、

前記第二クラッド層上に積層した活性層と、

前記活性層上に積層した第三クラッド層と、を有する、半導体発光素子。

【請求項48】基板上に第一クラッド層を積層する工程と、

前記第一クラッド層上に第二クラッド層を積層する工程と、

前記第二クラッド層上に活性層を積層する工程と、

前記活性層上に第三クラッド層を積層する工程と、

前記第一クラッド層が、前記基板、前記第二クラッド層、前記活性層、および前記第三クラッド層より高い速度でエッチングされる条件下でエッチングを行う工程と、を有することを特徴とした半導体発光素子の製造方法。

【請求項49】基板上に第一クラッド層を積層する工程と、

前記第一クラッド層上に第二クラッド層を積層する工程と、

前記第二クラッド層上に活性層を積層する工程と、

前記活性層上に第三クラッド層を積層する工程と、

前記基板、前記第一クラッド層、前記第二クラッド層、前記活性層、および前記第三クラッド層の積層方向に垂直な面に絶縁膜を積層する工程と、

前記絶縁膜の一部を除去し、前記第一クラッド層側面が露出する領域を設ける工程と、

前記第一クラッド層が前記絶縁膜より高い速度でエッチングされる条件下でエッチングを行う工程と、を有する半導体発光素子の製造方法。

【請求項50】基板上に第一伝導型半導体を積層する工程と、

前記第一伝導型半導体上に前記第一伝導型半導体と格子定数の異なる絶縁型半導体を積層する工程と、

前記絶縁型半導体上に、ダブルヘテロ構造の半導体層を積層する工程と、

前記基板および前記第一伝導型半導体および前記絶縁型半導体を電解液に浸漬し、前記第一伝導型半導体または前記絶縁型半導体に正電極および負電極を付着して、前記電極間に電圧を印加し、前記第一伝導型半導体をエッチングする工程と、を有する半導体発光素子の製造方法。

【請求項51】基板と、前記基板上に析出した半導体の

成長核と、

前記成長核を中心として前記基板面に平行に螺旋状に成長した薄膜層と、

前記薄膜層上に積層した第一クラッド層と、

前記第一クラッド層上に積層した活性層と、

前記活性層上に積層した第二クラッド層と、を有する半導体発光素子。

【請求項52】基板上に、気相成長法により第一の圧力条件で半導体の成長核を形成する工程と、

10 第二の圧力条件で前記成長核を中心として前記基板面に平行に螺旋状に薄膜を形成する工程と、

第三の圧力条件で第一クラッド層を成長する工程と、

第三の圧力条件で前記第一クラッド層上に活性層を積層する工程と、

第三の圧力条件で前記活性層上に第二クラッド層を積層する工程と、を有する半導体発光素子の製造方法。

【請求項53】凹部を有する基体と、前記凹部に設置した半導体発光素子とを有し、

前記半導体発光素子の活性層は、六方晶化合物半導体からなり、

前記活性層のc面内には、前記基体からの応力により等方的でない歪が導入されている、半導体発光装置。

【請求項54】半導体発光素子と、

前記半導体発光素子の活性層に応力を印加するための応力印加部とを有し、

前記半導体発光素子の活性層は、六方晶化合物半導体からなり、

前記活性層のc面内には、前記応力印加部により等方的でない歪が導入されている、半導体発光装置。

【請求項55】基板上に格子不整合系の結晶をエピタキシャル成長する方法において、前記基板結晶とエピタキシャル成長層との格子不整合により、前記エピタキシャル成長層に発生する格子歪みを、前記エピタキシャル成長層の特定の方位に集中させ、前記エピタキシャル成長層に等方的でない歪を生じさせる、エピタキシャル成長方法。

【請求項56】基板表面上の特定の部分に、前記基板上に成長するエピタキシャル成長層と同じ組成のアモルファス層をあらかじめ積層する、請求項55に記載のエピタキシャル成長方法。

【請求項57】前記エピタキシャル成長層と、前記アモルファス層とが異なった組成である、請求項56に記載のエピタキシャル成長方法。

【請求項58】アモルファス層の代わりに、SiO<sub>2</sub>膜またはSiN<sub>x</sub>膜を用いる、請求項56または57に記載のエピタキシャル成長方法。

【請求項59】基板表面上の特定の部分が、ストライプ形状で基板の特定方位に沿っている、請求項55に記載のエピタキシャル成長方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信、光情報処理分野などに用いられる短波長の半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、多くの分野で短波長半導体発光素子の需要が高まり、ZnSe系、及びGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N系材料を中心として精力的に研究が進められている。ZnSe系材料では、発振波長500nm前後の短波長半導体レーザの室温連続発振が達成され、実用化に向けての研究開発が続けられている。一方、Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N系材料でも、最近、高輝度な青色発光ダイオードが実現された。発光ダイオードとしての信頼性も、他の半導体発光素子材料と比較しても遜色なく、半導体レーザへの応用も十分可能であると思われる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N系材料はその物性があまり明らかにされておらず、結晶構造が六方晶系であるため、従来の立方晶系材料と同様な素子構造で十分実用に耐えられる特性が得られるかどうかはわからない。

【0004】本発明は以上のような問題点を鑑みてなされたものであり、六方晶化合物半導体の独特の電子帯構造の特徴を用いて高性能な半導体発光素子を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明の半導体レーザは、六方晶化合物半導体固有の電子帯構造の歪特性を用いて、構成の単純な高性能半導体レーザを実現するものである。具体的には、六方晶化合物半導体のc面内に等方的でない（異方的な）歪を加えることにより、しきい値電流の低い半導体発光素子を実現するものである。

【0006】我々は、六方晶化合物半導体のc面内に等方的でない（異方的な）歪を加えた場合、価電子帯上端付近のホールの有効質量が小さくなるということを見出した。この性質を利用して、c軸方向に成長させた六方晶化合物半導体から構成されている活性層のc面内に等方的でない（異方的な）歪を入れることにより、しきい値電流が低い半導体発光素子を実現できる。ここで等方的とはc面内で静水圧的（等方的）にかかる歪をいう。

【0007】

【発明の実施の形態】以下に、本発明で利用している六方晶化合物半導体の価電子帯の電子帯構造の歪特性について、図面を参照しながら説明する。

【0008】図1は、歪が加わっていない場合のAlGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N/GaN量子井戸構造について、GaN量子井戸層の価電子帯の電子帯構造を示している。この量子井戸構造は、AlGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N障壁層と、GaN量子井戸層とからな

る。量子井戸層の厚みは約4nmである。図1において、曲線aは重い正孔の第1準位のエネルギーバンドを表現し、曲線bは重い正孔の第2準位のエネルギーバンドを表現している。曲線cは軽い正孔の第1準位のエネルギーバンドを表現し、曲線dは軽い正孔の第2準位のエネルギーバンドを表現している。

【0009】図1は、価電子帯上端付近（波数0の近傍）におけるホールの有効質量は、Zincblende型化合物半導体と比べてかなり大きいことを示している。また、GaN量子井戸層にc軸方向の一軸性歪、あるいはc面内の等方的な（二軸性）歪が加わった場合、価電子帯上端付近のホールの有効質量は無歪の場合とほとんど変わらない。c軸方向の一軸性歪とは、六方晶化合物半導体のc軸方向にのみ歪がある場合をいい、c面内の二軸性歪とは、互いに垂直な軸にそれぞれ等しい大きさの歪がある場合であり、この場合も等方的な歪である。

【0010】ところで、六方晶化合物半導体のc面内に等方的でない（異方的な）歪が加わった場合の変形ポテンシャルをD5、c面内の直交する2つの方向の歪を $e_{xx}$ 、及び $e_{yy}$ 、c面内のせん断歪を $e_{xy}$ とすると、c面内に等方的でない（異方的な）歪が加わったことによる変形エネルギーはD5 ( $e_{xx} - e_{yy} + 2ie_{xy}$ ) の形で記述できる。

【0011】図2は、c面内に変形エネルギーが10meVとなる等方的でない（異方的な）歪が加わった場合のAlGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N/GaN量子井戸構造におけるGaN量子井戸層の価電子帯の電子帯構造を示している。図2から明らかなように、等方的でない歪を加えることにより、波数の小さい領域における「価電子帯の曲率」が小さくなっている。このため、価電子帯上端付近のホールの有効質量は無歪の場合と比較してかなり小さくなっていることがわかる。これは価電子帯上端付近の状態密度が減少していることを意味し、レーザ発振させるために必要な注入電流密度が少なくてよいことに対応している。したがって、このように量子井戸層に等方的でない歪を加えた活性層を用いた半導体レーザでは、発振しきい値電流が小さくなることがわかる。

【0012】また、図3は、c面内に等方的でない（異方的な）歪が加わった場合のしきい値電流密度の歪依存性を示している。横軸は変形エネルギー、縦軸は無歪の場合の値で規格化したしきい値電流密度を表わしている。図にはしきい値利得を変化させた場合の結果をまとめて示してある。図3から明らかなように、しきい値利得の値がどのような場合でも等方的でない（異方的な）歪を加えることにより、しきい値電流密度がかなり減少している。

【0013】また、図3では、c面内のせん断歪を考慮していないが、c面内にせん断歪が加わった場合についても同様な効果が見られる。

【0014】以上図1～図3で説明したように、六方晶化合物半導体を活性層に用いた半導体発光素子において、等方的でない歪を活性層に用いることでしきい値電流の小さい素子を実現できることがわかる。

【0015】以下、具体的に六方晶化合物半導体に等方的でない歪を導入した素子、およびその製造方法について述べていく。

【0016】（実施例1）本発明の一実施例の半導体発光素子の構造を示す。六方晶化合物半導体としては、IⅢ-V族化合物半導体である、 $\text{AlGaInN}$ 系の材料を用いている。歪は、c面に平行方向導入している。 $\text{AlGaInN}$ 発光素子層100にウルツ鉱型を用いる場合、その(0001)軸に垂直な方向(c面内に平行)に一軸性の歪を加えるとバンド構造(価電子帯)を変化させることが可能となる。その結果、発光素子の特性が向上することは前述した。

【0017】図4のように、サファイア基板101にストライプ状の溝102を形成するとその基板に熱膨張係数の方向性が表れ、その後、ストライプ溝102が形成されていない、他方の面に成長された $\text{AlGaInN}$ 発光層100には図中のx方向に一軸性の歪を加えることが可能となる。この発光層100を活性層とすることでしきい値電流の小さい半導体発光素子を実現できる。

【0018】具体的な製造方法を図5に示す。はじめにサファイア基板103の一主面にストライプ状のマスク104を形成する。その後、マスク104を用い、熱硫酸などのエッチング液を用いてストライプ状の溝105を形成する。さらに、たとえば $\text{AlN}$ などの材料をマスク104を用いて選択成長すると溝105の中だけに $\text{AlN}$ 埋め込み層106が形成される。その結果、厚さ方向に熱膨張係数の分布が生じ、続いて $\text{AlGaInN}$ 発光層107の結晶成長を1000℃以上の高温で行う場合に基板に一軸性の歪を生じることができ、結晶成長には有機金属気相成長法が用いられるが $\text{AlGaInN}$ では1100℃程度がよいとされている。すると、温度を室温に戻したときに $\text{AlGaInN}$ 発光層107に一軸性の歪が加わった状態とすることができる。

【0019】ここで、 $\text{AlN}$ 埋め込み層106を形成することによって熱膨張を増大させ、加熱機構からの熱の伝達を良好にし、より大きな歪を加えることが可能となる。また、加える歪みの絶対量は溝105の幅や深さで制御することができ、発光素子にとって最適な構造とすることが可能である。

【0020】また、結晶に一軸性の歪を加える方法としてストライプ状の酸化膜の形成が考えられる。図6、7にこの発明の一実施例の半導体発光素子の構造図を示す。

【0021】結晶成長を行う前にストライプ状の酸化膜109をサファイア基板108の一主面に形成する。

【0022】その後結晶成長を行うために1000℃以

上に昇温するとサファイア基板108と酸化膜109の熱膨張係数の違いによって図中Zの方向に湾曲させることができる(図7)。その状態で結晶成長を行い室温に戻すことによってZ方向に歪みの入った結晶を得ることができる。この場合、その歪み量はストライプの幅とピッチで制御される。たとえば半導体レーザを作製する場合、その幅は5ミクロン、ピッチは10ミクロン程度が適している。

【0023】類似の方法としてあらかじめ $\text{AlGaInN}$ 発光層を有機金属気相成長法により成長する方法がある。その後、ストライプ状の酸化膜109を形成するがそのとき500℃程度の高温で形成することにより同様の湾曲を発生させ結晶中に一軸性の歪を加えることができる。これはストライプ状の酸化膜109を形成後高温で熱処理することによっても同様の効果を得ることができる。

【0024】同様の効果を金属のバイメタル効果を利用することによって実現することが可能である。図8にこの発明の一実施例の半導体発光素子の構造図を示す。 $\text{AlGaInN}$ 発光素子を作製する場合 $\text{SiC}$ 基板112を用いることは有効である。あらかじめ $\text{AlGaInN}$ 発光層116を有機金属気相成長法により成長する。その後、 $\text{Ni}$ 層113上にストライプ状の第一の $\text{Au}$ 層114を形成することによってバイメタル効果で図中Z方向に $\text{SiC}$ 基板112を湾曲させることができる。その結果 $\text{AlGaInN}$ 発光層116に一軸性の歪を加えることができる。この場合 $\text{Ni}$ 層113が $\text{SiC}$ 基板112に対して電気的なオーミック特性を示すため半導体発光素子を作製した場合の効果は大きい。

【0025】さらに図9にこの発明の一実施例の半導体発光素子の構造図を示す。これは結晶成長を行うときに外部から応力を加えておく方法で、あらかじめ用意された曲率Rの面を有するトレイ119上にサファイア基板117をとめ治具118を用いて固定する。その後、基板117に発光層を成長し取り出すとサファイア基板117は元の状態に戻ろうとし発光層に歪みが加わる。この方法の特徴は加える歪みの量をトレイ119の曲率を機械的に変化させることによって制御できることである。

【0026】（実施例2）図10は第2の実施例を示すウルツ鉱型 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 量子井戸半導体レーザの素子断面図である。井戸層に $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、障壁層に $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ を用いている。

【0027】有機金属気相成長方法により(1100) $\text{LiTaO}_3$ 基板201上に $\text{AlN}$ バッファ層202、 $n\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ クラッド層203、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 第1光ガイド層204、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸活性層205( $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子井戸層、 $\text{GaN}$ 量子井戸層の積層構造)、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 第2光ガイド層206、 $p\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ クラッド層2



07を連続的に形成する。

・【0028】その後エッチングによりリッジストライプ208を形成し、SiO<sub>2</sub>絶縁膜209を堆積した後、電流注入のためにSiO<sub>2</sub>絶縁膜209に開口部210および211を形成する。そして最後にアノード電極212およびカソード電極213を形成する。

【0029】このウルツ鉱型InGa<sub>1-x</sub>N/AlGa<sub>1-x</sub>N量子井戸半導体レーザを構成する層構造は組成、材料により成長温度が異なる場合が多いが、例えば有機金属気相成長法を用いた場合AlNバッファ層202を除いて800～1100℃の範囲で作製される。したがって成長終了後に室温に戻された結晶には基板との熱膨張係数差によって歪が発生する。なお、成長時には多結晶状であるAlNバッファ層202を種結晶としてそれ以降の結晶が成長されるので、(1100) LiTaO<sub>3</sub>基板201とそれ以外の層との格子定数差が歪に反映されることはほとんどない。もちろんn-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nクラッド層203からp-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nクラッド層207までのヘテロ構造において材料間で格子定数が異なる場合もあり、この格子定数差が歪に反映されることはあり得るが、ミスフィット転位等が発生しないように材料、膜厚を選ばばよい。しかし、前述の熱膨張係数差による歪は回避できない。そこで本発明ではこの歪を積極的に利用している。

【0030】図15に基板として用いたLiTaO<sub>3</sub>基板201および、ウルツ鉱型Ga<sub>1-x</sub>N結晶との面内での熱膨張係数を示す。本実施例では(1100) LiTaO<sub>3</sub>基板を用いているので面内では熱膨張係数に異方性があり、図11に示すように(0001)方向とこれと垂直な(11'20)方向とで表している。なお、ウルツ鉱型Ga<sub>1-x</sub>N系材料は、基板の面方位に係わらず(0001)配向で結晶が成長するので各層とも(0001)方向に垂直に形成されている。ウルツ鉱型Ga<sub>1-x</sub>N系材料の熱膨張係数は(0001)面で等方的であり、Ga<sub>1-x</sub>Nでは $5.6 \times 10^{-6}$ である。AlGaInN混晶のいかなる組成の材料でもこの付近の熱膨張係数を有する。一方LiTaO<sub>3</sub>基板は(0001)方向では $1.2 \times 10^{-6}$ とGa<sub>1-x</sub>Nよりも小さい熱膨張係数を有しているが、(11'20)方向では逆に $2.2 \times 10^{-5}$ とGa<sub>1-x</sub>Nよりもはるかに大きい熱膨張係数を持つ。したがって図10の半導体レーザにおいて(1100) LiTaO<sub>3</sub>基板201が、結晶成長により作製されたn-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nクラッド層203からp-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nクラッド層207までの結晶よりも十分に厚い場合、例えば成長温度が室温よりも1000℃と高いと仮定すると、室温に冷却したときにn-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nクラッド層203からp-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nクラッド層207までの結晶には、(0001)方向の歪を $e_{xx}$ 、(11'20)方向の歪を $e_{yy}$ とすると $e_{xx} = -0.44\%$ 、そして $e_{yy} = 1.6\%$ となる。このようにしてIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/Ga<sub>1-x</sub>N多重量

子井戸活性層205面内に、非等方歪(等方的でない歪)を作り込むことができるので価電子帯の状態密度を大幅に低減でき、レーザのしきい値電流の低減が可能となる。

【0031】ただし、n-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nクラッド層203からp-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nクラッド層207までの結晶成長層の全体の膜厚が厚い場合、上で述べた基板との熱膨張係数差による歪、すなわち $e_{xx}$ と $e_{yy}$ に耐えられず、転位欠陥を起こして歪が緩和してしまう場合も考えられる。この場合には図12に示すように(1100)から(0001)方向に $\theta$ 、(11'20)方向に $\phi$ 傾けたLiTaO<sub>3</sub>基板を用いればよい。この傾きによって結晶成長層のそれぞれの方向に入る歪は、

$$e'_{xx} = -0.4 \cos \theta$$

$$e'_{yy} = 1.6 \cos \phi$$

となり、小さくできる。したがって適当に $q$ および $f$ を選ぶことによって転位欠陥の導入を防ぐことができる。 $e'_{xx} + e'_{yy} = 0$ となるように $q$ および $f$ を選べば、特に転位欠陥防止の効果が高い。

【0032】なお、本実施例では基板としてLiTaO<sub>3</sub>を用いたが、他の非線形光学結晶、例えばLiNbO<sub>3</sub>やKTiOPO<sub>4</sub>、KNbO<sub>3</sub>、LiB<sub>6</sub>O<sub>13</sub>等の材料はLiTaO<sub>3</sub>と同様に熱膨張係数の異方性が大きく、成長温度で安定なら使用可能である。

【0033】(実施例3) 図13は第3の実施例を示すウルツ鉱型InGa<sub>1-x</sub>N/AlGa<sub>1-x</sub>N量子井戸半導体レーザの素子断面図である。結晶成長により(0001)サファイア基板301上にAlNバッファ層302、n-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nクラッド層303、Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N第1光ガイド層304、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/Ga<sub>1-x</sub>N多重量子井戸活性層305、Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N第2光ガイド層306、p-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N第1クラッド層307、p-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N歪導入層308を連続的に形成する。その後一旦結晶成長装置から基板を取り出し、エッチングによりp-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N歪導入層308を幅2mmのストライプ状に加工し、再び成長装置に戻してからp-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N第2クラッド層309を成長させる。そしてSiO<sub>2</sub>絶縁膜310を堆積した後、電流注入のためにSiO<sub>2</sub>絶縁膜310に開口部311および312を形成する。そして最後にアノード電極313およびカソード電極314を形成する。

【0034】ここでp-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N歪導入層308のAl組成比 $x'$ をp-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N第1クラッド層307およびp-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N第2クラッド層309のAl組成比 $x$ よりも大きく選ぶと格子定数がp-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N歪導入層308の方が小さいために図14に示すように周囲の結晶に圧縮の歪を導入することができる。

【0035】このように局所的な歪が導入できるのはp-Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N歪導入層308の幅が2mm程度と

小さいため、この幅が十分大きくなると  $p\text{-Al}_z\text{'Ga}_{1-z}\text{'N}$  歪導入層 308 自身に歪が入るだけで付近の結晶へは歪を導入できなくなる。 $p\text{-Al}_z\text{'Ga}_{1-z}\text{'N}$  歪導入層 308 はストライプ状に作製されているのでストライプに垂直な面では周囲の結晶に歪を導入することができるが、ストライプに平行な面では歪は導入されない。その結果、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$  多重量子井戸活性層 305 面内においてもストライプに垂直な面内のみ歪を導入できるので、歪に異方性が生じ、ホール状態密度を低減できる。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$  多重量子井戸活性層 305 への歪は  $p\text{-Al}_z\text{'Ga}_{1-z}\text{'N}$  歪導入層 308 との距離が近いほど大きくできるので  $p\text{-Al}_z\text{'Ga}_{1-z}\text{'N}$  第 1 クラッド層 307 の膜厚を適当に設定することで調整が可能である。

【0036】なお、本実施例では  $p\text{-Al}_z\text{'Ga}_{1-z}\text{'N}$  歪導入層 308 の Al 組成比  $z'$  を  $p\text{-Al}_z\text{'Ga}_{1-z}\text{'N}$  第 1 クラッド層 307 および  $p\text{-Al}_z\text{'Ga}_{1-z}\text{'N}$  第 2 クラッド層 309 の Al 組成比  $z$  よりも大きく選んだが、逆に小さく選んだ場合でも同様の異方性歪を作り込むことができる。特に  $z'$  が  $z$  よりも小さい場合、 $p\text{-Al}_z\text{'Ga}_{1-z}\text{'N}$  歪導入層 308 によって光導波構造も実現できる。 $p\text{-Al}_z\text{'Ga}_{1-z}\text{'N}$  歪導入層 308 はその横の  $p\text{-Al}_z\text{'Ga}_{1-z}\text{'N}$  第 2 クラッド層 309 よりも屈折率が大きいからである。このため非常に簡単に屈折率導波構造が実現できる。

【0037】（実施例 4）図 16 にこの発明の一実施例の半導体レーザの製造方法を示す。

【0038】有機金属気相成長法等の結晶成長方法を用いて、例えば (0001) 面サファイア基板上に作製された  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$  系 ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) の半導体レーザ 401 のチップを図 16

(a) に示すように、まず、200℃の高温でサブマウント 402 上に配置する。サブマウント 402 の構造は図 17 に示すように、 $\text{LiTaO}_3$  403、ハンダ材 404 から成る。 $\text{LiTaO}_3$  403 は異方性結晶の誘電体であり、半導体レーザ 401 は (0001) 面に垂直な面、例えば、(1120) 面や (1100) 面上に実装する。

【0039】ハンダ材 404 には例えば  $\text{Pb-Sn}$  等を用いる。200℃で溶融したハンダ材は、室温に下がった際に固まり、半導体レーザ 401 がサブマウント 402 上に固定される。 $\text{LiTaO}_3$  403 の a 軸方向の熱膨張係数は  $2.2 \times 10^{-6}/\text{K}$  で、c 軸方向のそれは  $1.2 \times 10^{-6}/\text{K}$  である。即ち、図 16 (a) の x 軸方向と y 軸方向の熱膨張の割合が大きく異なり、半導体レーザ 401 がサブマウント 402 に固定される時に、半導体レーザ 401 に不均一な応力が加わることになる。半導体レーザ 401 に加えられる一軸性の応力の量は上げる温度によって制御することができる。つまり、温度が高い程より大きな応力を加えることが可能となる。

【0040】本実施例の半導体レーザ 401 はウルツ鉱型の結晶を用いている。この結晶は (0001) 軸に垂直な方向に一軸性の応力を加えることにより、価電子体のバンド構造を変化させることができ、有効質量を低減でき、状態密度を低下させることができ、結果として、半導体レーザのしきい値電流や駆動電流を低減でき信頼性の高いレーザを得ることができる。

【0041】このようにウルツ鉱型の半導体発光素子と、方位によって熱膨張係数が大きく異なる異方性結晶を組み合わせることによって、上記半導体発光素子の特性を大きく向上させることが可能となる。

【0042】本実施例では、半導体レーザ 401 は (0001) 面に垂直な面、例えば、(1120) 面や (1100) 面上に実装するものとして説明したが、一軸性の応力が加わるようなサブマウントであれば面方位を問わない。

【0043】（実施例 5）図 18 にこの発明の別の実施例の半導体レーザの製造方法を示す。

【0044】有機金属気相成長法等の結晶成長方法を用いて、例えば (0001) 面サファイア基板上に作製された  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$  系 ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) の半導体レーザ 501 のチップを図 18

(a) に示すように、まず、180℃の高温でサブマウント 502 上に配置する。サブマウント 502 の構造は図 19 に示すように、 $\text{Fe-Ni}$  合金 503、 $\text{Fe-Ni-Mn}$  合金 504、 $\text{Pb-Sn}$  ハンダ 505 から成る。 $\text{Fe-Ni}$  合金 503 はインバー (Invar) と呼ばれ、温度が変化しても長さがほとんど変化しない材料である。また、 $\text{Fe-Ni-Mn}$  合金 504 は温度の上昇に伴って熱膨張が著しい材料である。 $\text{Fe-Ni}$  合金 503 と  $\text{Fe-Ni-Mn}$  合金 504 をはり合わせることで、温度変化によって湾曲するようなサブマウントが得られる。

【0045】180℃で溶融したハンダ材は室温に下がった際に固まり、半導体レーザ 501 がサブマウント 502 上に固定される。半導体レーザ 501 がサブマウント 502 に固定される時に、半導体レーザ 501 に一方方向への応力が大きい不均一応力が加わることになる。半導体レーザ 501 に加えられる一軸性の応力の量は上げる温度によって制御することができる。

【0046】本実施例の半導体レーザ 501 はウルツ鉱型の結晶を用いている。この結晶は (0001) 軸に垂直な方向に一軸性の応力を加えることにより、価電子体のバンド構造を変化させることができ、有効質量を低減でき、状態密度を低下させることができ、結果として、半導体レーザのしきい値電流や駆動電流を低減でき信頼性の高いレーザを得ることができる。

【0047】このようにウルツ鉱型の半導体発光素子と、バイメタルとの組み合わせによって、上記半導体発光素子の特性を大きく向上させることが可能となる。

【0048】本実施例では、図19の様なサブマウントを用いて説明したが、一方向に湾曲するようなサブマウントであれば本発明の効果は大きい。例えば、図20に示すような構造等でも構わない。すなわち、Fe-Ni-Mn合金504の裏面に、温度変化に対して膨張しないFe-Ni合金503をストライプ状に形成する。この構造でも、(b)に示すようにストライプと垂直方向にサブマウントを湾曲させることができる。

【0049】図21にこの発明の別の実施例の半導体レーザーの製造方法を示す。有機金属気相成長法等の結晶成長方法を用いて、例えば(1120)面サファイア基板上に作製された $Al_xGa_yIn_zN$ 系( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ )の半導体レーザー551のチップを図21に示すように、まず、サブマウント552上に配置する。その後、加重用のコレット553を用いて上面から半導体レーザー553に応力を加えながら紫外線硬化樹脂554に紫外線を照射して半導体レーザー551をサブマウント552に固定する。半導体レーザー551がサブマウント552に固定される時に、半導体レーザー551に上下方向に応力が加わる。

【0050】本実施例の半導体レーザー551はウルツ鉱型の結晶を用いている。この結晶は(0001)軸に垂直な方向に一軸性の応力を加えることにより、価電子体のバンド構造を変化させて有効質量を低減でき、状態密度を低下させることができ、結果として、半導体レーザーのしきい値電流や駆動電流を低減できて信頼性の高いレーザーを得ることができる。

【0051】本実施例では、図21に示すように半導体レーザーに上面から応力を加えたが、側面から加えられるような構造でも良く、例えば図22のような構造としてもよい。すなわち、サブマウント555に設けた凹部に半導体レーザー551を設置する。半導体レーザーの活性層には六方晶化合物半導体を用い、その結晶はc軸方向に成長している。

【0052】サブマウント555の両サイドには、半導体レーザー551の側面に加重用板バネ556を介して応力をかけるための加重用ネジ557が設置されている。レーザー551は凹部に紫外線効果樹脂554で固定され、加重用ネジ557を回転することで、レーザー551の活性層のc面内に一軸歪を導入できるようになっている。この一軸歪により、しきい値電流の小さい半導体レーザーを実現できる。

【0053】本実施例では(1120)基板上に成長した半導体レーザーを用いて説明したが、一軸性の応力が(0001)面に垂直な方向に加わるような構造であれば本発明の効果は大きい。

【0054】本実施例では紫外線硬化樹脂を用いて説明したが、半導体レーザーとサブマウントを固定できるものであればよく、例えば熱硬化樹脂等でも構わない。

【0055】(実施例6) 図23は本発明の一実施例の

AlGaInN系半導体発光素子の製造工程を示すものである。

【0056】結晶成長は減圧MOVPE法であり、2回のMOVPE成長により素子構造を形成した。まず、図23(a)に示すように、6H-SiC基板601を脱脂洗浄した後、MOVPE法による第一の結晶成長を行った。成長方法について詳細に説明する。MOVPE装置の反応室内に水素ガスを導入し、反応室内圧力を1/10気圧に設定した後、水素ガス中で基板601を1100℃まで昇温し、6H-SiC基板601表面の清浄化を行った。

【0057】次いで、基板温度を600℃まで降温した後、6H-SiC基板601面上にV族原料としてアンモニアガスを導入し、10秒後にIII族原料としてトリメチルアルミニウムを供給して膜厚50nmの非単結晶AlN層602を堆積した。その後、一旦トリメチルアルミニウムの供給を停止し、基板温度を900℃まで昇温して、III族原料としてトリメチルアルミニウムを再度供給し膜厚5μmの単結晶AlN層603を堆積した。

【0058】次に、エッチング用マスクとしてSiO<sub>2</sub>を用い、図23(b)に示すように、幅3μm、間隔2μmの2本のストライプ溝を形成した。

【0059】エッチング用マスクを除去した後、MOVPE法による第二の結晶成長を行った。MOVPE装置の反応室内に水素ガスを導入し、反応室内圧力を1/10気圧に設定した後、水素ガスとアンモニアガスの混合雰囲気中で6H-SiC基板601を1100℃まで昇温し、表面の清浄化を行った。次いで、基板温度を1030℃に降温した後、III族原料としてトリメチルアルミニウム、トリメチルインジウムとトリメチルガリウムを供給し、図23(c)に示すように、膜厚3μmのSiドープn型AlGaInNクラッド層604、膜厚20nmのAlGaInN活性層605、膜厚2μmのMgドープp型AlGaInNクラッド層606をストライプ溝内部を含め全表面に連続的に積層した。最後にp側電極607、n側電極608を形成しレーザー構造を完成した。

【0060】以上の製造工程から、上記のダブルヘテロ構造の積層に際しては、2本のストライプ溝部609の組成と2本のストライプ溝間の平坦部610において各III族元素の結晶内への取り込まれ効率が異なるため、組成変化が生じる。この場合、組成変化は、格子定数の変化に対応し、両側から格子定数の異なる結晶によってサンドイッチされた平坦部610においては、両側の溝部609から横方向に応力が発生することとなる。したがって、平坦部において、ストライプ方向とは垂直方向のみ選択的に歪みを加えることができる。これは、活性層の面内方向のほぼ一軸歪となり、価電子帯の状態密度を小さくすることができる。また、2本のストライ

ブ溝間の平坦部610においては活性層が湾曲するため、平坦部610を発光部とした低しきい値電流で横モード安定な半導体レーザが実現できる。

【0061】なお、発光部となる平坦部610にかかる歪量は2本のストライプ溝間隔、深さやSiドープn型AlGaInNクラッド層604の厚みを変化させることで容易に制御できる。

【0062】(実施例7) 図24は本発明の一実施例の製造方法によるAlGaInN系半導体発光素子の製造工程を示すものである。実施例6との違いは、ストライプ溝部に代えて、凹部を設けていることである。この凹部の傾斜部を利用することで、凹部の平坦部の活性層に歪を加えることができる。

【0063】結晶成長は減圧MOVPE法であり、2回のMOVPE成長により素子構造を形成した。まず、図24(a)に示すように、6H-SiC基板651を脱脂洗浄した後、MOVPE法による第一の結晶成長を行った。成長方法について詳細に説明する。MOVPE装置の反応室内に水素ガスを導入し、反応室内圧力を1/10気圧に設定した後、水素ガス中で基板651を1100℃まで昇温し、6H-SiC基板651表面の清浄化を行った。次いで、基板温度を600℃まで降温した後、6H-SiC基板651面上にV族原料としてアンモニアガスを導入し、10秒後にIII族原料としてトリメチルアルミニウムを供給して膜厚50nmの非単結晶AlN層652を堆積した。その後、一旦トリメチルアルミニウムの供給を停止し、基板温度を900℃まで昇温して、III族原料としてトリメチルアルミニウムを再度供給し膜厚5μmの単結晶AlN層653を堆積した。

【0064】次に、エッチング用マスクとしてSiO<sub>2</sub>を用い、図24(b)に示すように、幅3μmストライプ溝を形成した。

【0065】エッチング用マスクを除去した後、MOVPE法による第二の結晶成長を行った。MOVPE装置の反応室内に水素ガスを導入し、反応室内圧力を1/10気圧に設定した後、水素ガスとアンモニアガスの混合雰囲気中で6H-SiC基板651を1100℃まで昇温し、表面の清浄化を行った。次いで、基板温度を1030℃に降温した後、III族原料としてトリメチルアルミニウム、トリメチルインジウムとトリメチルガリウムを供給し、図24(c)に示すように、膜厚3μmのSiドープn型AlGaInNクラッド層654、膜厚20nmのAlGaInN活性層655、膜厚2μmのMgドープp型AlGaInNクラッド層656をストライプ溝内部を含め全表面に連続的に積層した。最後にp側電極657、n側電極658を形成しレーザ構造を完成した。

【0066】以上の製造工程から、上記のダブルヘテロ構造の積層に際しては、ストライプ溝側面部659の組

成とストライプ溝平坦部660において各III族元素の結晶内への取り込まれ効率が異なるため、組成変化が生じる。この場合、組成変化は、格子定数の変化に対応し、両側から格子定数の異なる結晶によってサンドイッチされた平坦部660においては横方向に応力が発生することとなる。したがって、平坦部660において、矢印で示すようにストライプ方向とは垂直方向のみ選択的に歪みを加えることができる。よって、平坦部660の活性層の面内方向に一軸歪を加えることができるので、平坦部660を発光部とした低しきい値電流で横モード安定な半導体レーザが実現できる。なお、発光部となる平坦部660にかかる歪量はストライプ溝幅、深さやSiドープn型AlGaInNクラッド層654の厚みを変化させることで容易に制御できる。

【0067】(実施例8) 図25(a)に示すように(0001)サファイア基板801上に有機金属気相成長(MOVPE)法によりGaN結晶層802及び803を堆積する。原料にはトリメチルガリウム(TM<sub>G</sub>)、アンモニア(NH<sub>3</sub>)を用い、原料のキャリアガスには水素ガスを用いる。成長圧力は100 Torrである。気相成長の際に反応室に設けた覗き窓からエキシマレーザ等の光線を基板の一部に選択的に照射する。成長温度は通常単結晶が得られる温度よりも低い温度である500℃で行う。これは選択的に格子定数の異なるGaN結晶層を2次的に配列するためである。

【0068】図26に気相成長中のレーザ照射強度によってGaN結晶の格子定数が変わることを見いだしたデータを示す。これは成長温度が十分低いと多結晶的なGaN結晶ができ見かけ上の格子定数が大きくなるためと考えられる。このことから強い強度のレーザ光線を照射すると照射した部分の成長温度が選択的に上昇して単結晶化されるものと考えられる。図25(a)に示すようにエキシマレーザを10kWの強度で(0001)サファイア基板801上に選択的に照射して有機金属気相成長を行うと、レーザ光を照射した領域では格子定数が本来の単結晶の値であるGaN結晶層802が堆積されレーザ光を照射していない領域では格子定数が大きい多結晶的なGaN結晶層803が堆積される。その結果、図25(b)に示すようにGaN結晶層802とGaN結晶層803の境界領域では境界線に沿った方向には歪が生じ、境界線に垂直な方向では歪の無い2次的に異方性のある歪状態が作製できる。これを例えば窒化ガリウム系半導体レーザの活性層に用いれば著しい特性改善が期待される。なお、成長温度は多結晶が得られる700℃以下なら同様の効果が得られるので本発明においては500℃に限定するものではない。

【0069】(実施例9) さらに、図27に示すようにGaN結晶層802とGaN結晶層803上にレーザ光線を照射せずに1000℃で有機金属気相成長法によりGaN結晶層を堆積する。このような成長を行うと多結

晶的なGa<sub>0.3</sub>N結晶層803上のGa<sub>0.5</sub>N結晶層805の格子定数は大きく単結晶のGa<sub>0.2</sub>N結晶層804の格子定数は小さくすることができる。この場合の成長温度は前記Ga<sub>0.2</sub>N結晶層802とGa<sub>0.3</sub>N結晶層803を堆積した温度よりも高いことが重要で、格子定数の大きい多結晶的なGa<sub>0.3</sub>N結晶層803をバッファ層としてより単結晶に近い結晶性の良いGa<sub>0.5</sub>N結晶層805を堆積できる。したがって図25に示したようなレーザ光線を照射するだけの製造方法よりも高品質なGa<sub>0.5</sub>N結晶層を作製できる。

【0070】(実施例10) また、このとき図25で示したGa<sub>0.2</sub>N結晶層802とGa<sub>0.3</sub>N結晶層803の膜厚を変化させることにより、サファイア基板からの格子不整合の情報を制御できるので、Ga<sub>0.2</sub>N結晶層802とGa<sub>0.3</sub>N結晶層803の膜厚を変化させてGa<sub>0.5</sub>N結晶層805の格子定数を変化させることができ歪量を制御することが可能である。このような製造方法で作製した2次元的な歪をもったGa<sub>0.5</sub>N結晶層を例えば窒化ガリウム系半導体レーザの活性層に用いれば著しい特性改善が期待される。

【0071】なお、本実施例ではGa<sub>0.5</sub>N結晶の成長方法を示したがAl<sub>0.1</sub>N、In<sub>0.1</sub>N及びこれらの混晶においても同様の効果が得られることは明らかである。また、基板はサファイア基板に限らずSiC、ZnO等の基板においても同様の効果が得られる。

【0072】(実施例11) 本発明の第11の実施例について説明する。図28は実施例における製造工程断面図である。サファイア基板1101を有機金属気相成長装置の反応管にセットし、前記サファイア基板1101を1000℃まで加熱し、前記反応管に水素、アンモニア、トリメチルアルミニウム、トリメチルガリウムを供給することによりAlGaInNクラッド層1102を5μm、水素、アンモニア、トリメチルアルミニウム、トリメチルインジウム、トリメチルガリウムを供給することによりn型AlGaInNクラッド層1103を5μm、水素、アンモニア、トリメチルインジウム、トリメチルガリウムを供給することによりInGa<sub>0.4</sub>N活性層1104を0.01μm、水素、アンモニア、トリメチルアルミニウム、トリメチルインジウム、トリメチルガリウム、ジエチルジンを供給することによりp型AlGaInNクラッド層1105を2μm、それぞれ有機金属成長法により成長し、ダブルヘテロ構造を形成する。

【0073】このとき前記AlInGa<sub>0.4</sub>Nクラッド層1103、1105および前記InGa<sub>0.4</sub>N活性層1104は前記AlGa<sub>0.2</sub>Nクラッド層1102に比べ格子定数が大きいので、圧縮歪が入った状態となる。

【0074】続いて前記サファイア基板1101、前記AlGa<sub>0.2</sub>Nクラッド層1102、前記AlInGa<sub>0.4</sub>Nクラッド層1103、1105、および前記InGa<sub>0.4</sub>N活性層1104の側面に絶縁膜1106を熱CVDにより

堆積し、(a)のような構造を形成する。

【0075】続いてフォトリソグラフィおよび四フッ化炭素による反応性イオンエッチングによって前記AlGa<sub>0.2</sub>Nクラッド層1102の側面が露出するように、前記絶縁膜をエッチングし、(b)のような構造を形成する。

【0076】続いて塩素による反応性イオンビームエッチングによって、側面より前記AlGa<sub>0.2</sub>Nクラッド層1102を5μmエッチングし、(c)のような構造を形成する。AlGaInN1103、InGa<sub>0.4</sub>N1104、AlGaInN1105はAlGa<sub>0.2</sub>Nクラッド層1102と比べてInを含んでいる分、格子定数が大きいので、AlGa<sub>0.2</sub>Nクラッド層1102がエッチングされてなくなっている部分は、ストレスがフリーとなっているので、本来の格子定数となるため、横方向に伸びたように図示している。下部にAlGa<sub>0.2</sub>N1102がある部分は、本来の格子定数よりも小さくなり、圧縮歪が導入されている。

【0077】図29に絶縁膜を除去した後の断面構造図と、上から見た平面図を示す。1107、1108は、上面から見た場合のInGa<sub>0.4</sub>N活性層1104を構成する結晶の格子定数を表した模式図である。1107に示す領域においてはInGa<sub>0.4</sub>N活性層1104は、この活性層より格子定数の小さいAlGa<sub>0.2</sub>Nクラッド層1102上に堆積されているため、InGa<sub>0.4</sub>N活性層1104は成長方向に垂直な全方向より応力を受け、2次元的に圧縮歪となっている。ただし圧縮歪を受けている分、成長方向に伸びている。

【0078】一方、1108に示す領域においては下部にAlGa<sub>0.2</sub>Nクラッド層1102が存在しないため、成長方向に垂直な方向の内、図29の右への方角に対しては応力を受けないためストレスフリーとなる。したがって、選択的な方向に圧縮歪を加えることができる。

【0079】このように、活性層1104において、AlGa<sub>0.2</sub>N層1102が下部にある部分と、除去されていない部分との境界部(1107と1108との境界)で、矢印に示す方向に歪が発生することになり、この歪が面内方向での一軸歪となり、価電子帯の状態密度を小さくすることができる。1107の部分では、活性層1104は面内方向に圧縮歪を等方的に受けているので、この歪は、しきい値電流の低減には寄与しない。しかし、1107と1108との境界部では、等方的でない歪が生じるため、しきい値電流の低減に大きく寄与することになる。

【0080】また図28(d)のようにAlGa<sub>0.2</sub>Nクラッド層1102の代わりに、InGa<sub>0.4</sub>Nクラッド層を、InGa<sub>0.4</sub>N活性層1104の代わりにAlGaInN活性層を用いることにより、同様の方法でAlGaInN活性層における、下部にInGa<sub>0.4</sub>Nクラッド層がある部分とない部分との境界部に選択的に引っ張り歪を加える

ことも可能である。

【0081】なお選択エッチングを前述の絶縁膜のパターニングおよび反応性イオンビームエッチング等のドライエッチングを用いる代わりに、電気分解による選択性エッチングを用いることも可能である。この際被エッチング層は電気分解によるエッチングが多くの層に比べより促進させるため、高温度の不純物を添加し、電解液中にて電極を接触して電圧を印加することによりエッチングの促進が可能となる。また被エッチング層とデバイス構造を形成する層の間には電気的な干渉を防ぐために100 μm程度以上の絶縁層を積層する必要がある。

【0082】（実施例12）次に本発明の第12の実施例について説明する。図30は実施例における製造工程の模式図である。サファイア基板1201を有機金属気相成長装置の反応管にセットし、サファイア基板1201を1000℃まで加熱し、反応管に水素、アンモニアおよびトリメチルガリウムを供給することにより基板上にGa<sub>2</sub>N結晶の成長核1202を形成する。この際、成長核の形成密度を小さくするため、反応管内の圧力は10 Torrと低圧にしておく。

【0083】引き続いて、圧力を5 Torrとさらに低圧にしてアンモニアおよびトリメチルガリウムを供給することによりGa<sub>2</sub>N1203の成長を行う。この際、圧力が非常に小さいため基板上に新たな結晶の成長核は形成されず、また基板に垂直に積層されることもなく、結晶側壁に最も単結晶が析出しやすい条件となる。したがってGa<sub>2</sub>N結晶1203は結晶核1202を中心として基板に平行に螺旋状に成長が行われ、螺旋状薄膜となる。

【0084】図31はこのときのGa<sub>2</sub>N結晶1203の単位胞1204の状態を表した模式図である。動径方向に関しては応力を受けないが、円周方向においては外周に向かうほど引張応力を受ける。したがって転位に至らない限り、Ga<sub>2</sub>N結晶1203は引張歪を円周方向にのみもつ非対称歪結晶（等方的でない歪）となる。

【0085】続いて、反応管内の圧力を80 Torrまで上げ、基板に垂直な方向への積層が可能な条件にし、Ga<sub>2</sub>N螺旋状薄膜1203上に水素、アンモニア、トリメチルアルミニウム、トリメチルガリウムを供給することによりn型AlGa<sub>2</sub>Nクラッド層1205を5 μm、水素、アンモニア、トリメチルインジウム、トリメチルガリウムを供給することによりInGa<sub>2</sub>N活性層1206を0.01 μm、水素、アンモニア、トリメチルアルミニウム、トリメチルガリウム、ジエチルジンを供給することによりp型AlGa<sub>2</sub>Nクラッド層1207を2 μm成長し、ダブルヘテロ構造を形成する。

【0086】本方法によれば、エッチングや選択再成長などの工程を用いず、成長時に圧力を変化させるのみで容易に非対称歪結晶を形成することが可能である。したがって、この方法で製造した半導体レーザは、しきい値

電流の小さいものとなる。

【0087】（実施例13）図34は本発明の一実施例で用いられる成長装置の断面概略図である。図中1011は石英製の反応管で、この反応管11内にはガス導入口1012から原料ガスが導入される。反応管1011内にはカーボン製のサセプタ1013が配置されており、試料基板1014はこのサセプタ上面に設置される。サセプタはエピタキシャル層の組成および膜圧の面内均一性を得るために、回転機構を備えている。反応管の周囲に配置された高周波コイル1015によってサセプタは誘導加熱される。サセプタ内に配置された熱伝対1016によって基板加熱温度のモニタおよび制御ができるようになっている。ガス排気口1017は真空ポンプ1018に接続されており、反応管内の圧力調節およびガスの排気ができるようになっている。

【0088】次に、上記の装置を用いた結晶成長方法について図34、図35を用いて説明する。まず、有機溶剤、塩酸系の薬品処理および純水洗浄により表面を清浄化した面方位（0001）のα-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（サファイア）基板1031を上記サセプタ1013上に設置し、基板ホルダー1021によって固定する。ガス導入口1012から精製装置を通した高純度の水素ガスを導入し、反応管1011内の大気を置換する。数分間水素ガスを導入した後に真空ポンプ1018を動作させ管内の圧力を10 Torrに保つ。圧力が安定したところで高周波コイル1015によってサセプタを誘導加熱し、試料基板1014の温度が1200℃に達してから約10分間保持し基板表面の清浄化を行う。

【0089】次いで基板温度を400℃に降温してから原料ガスであるTMG（トリメチルガリウム）およびNH<sub>3</sub>（アンモニア）をガス導入口1012から導入しアモルファス状のGa<sub>2</sub>N膜1035を膜厚0.1 μmになるまで堆積させる。このとき、基板温度が通常の成長条件に比べて低いためNH<sub>3</sub>の分解効率が低いことを考慮して、NH<sub>3</sub>とTMGの流量比は10000:1とした。このとき成長温度が上記温度よりも高いと、3次元成長すなわち六角柱状の島状成長がおこり、均一なアモルファス状のGa<sub>2</sub>N膜が得られなかった。

【0090】Ga<sub>2</sub>N膜1035の堆積後は基板温度が下がってから、一旦試料基板を反応管1011から取り出し、フォトリソグラフィ工程により図35（b）に示すように、サファイア基板のR面に直交する方向にストライプ状にアモルファス状のGa<sub>2</sub>N堆積膜1035を残した。ここでR面は図35のサファイア基板31の断面となっている面であり、ストライプは紙面に垂直方向、つまりR面に直交する方向に伸びている。ストライプの幅および間隔はそれぞれ5 μmおよび50 μmとなっている。

【0091】充分な純水洗浄の後、再び試料基板を反応管1011内に戻し、今度は水素ガスの代わりにNH<sub>3</sub>



ガスを流しながら、上述の要領で試料基板1014の温度が1100℃になるまで加熱し、試料基板表面の清浄化を行う。

【0092】次いで、TMGおよびNH<sub>3</sub>をガス導入口1012から導入し通常の2段階成長法でGaN膜をエピタキシャル成長させる。すなわち、基板温度を600℃まで下げ、まず、0.05μmの膜厚まではGaN膜1033が3次元成長、すなわち六角柱状の島状成長が促進されるようにし、その後、基板温度を1050℃に上げて続けて、GaN膜1034を膜厚が5.0μmとなるまでエピタキシャル成長を行った。このときNH<sub>3</sub>とTMGの流量比は300:1とした。エピタキシャル成長したGaN膜1034は、下部にアモルファス状のGaN膜1035が存在するところは、アモルファスライクの結晶となる。アモルファスの上にはアモルファスしか積もらないからである。ここではその膜をアモルファス状のGaN膜1036とよぶ。

【0093】また、このアモルファス状のGaN膜1036には含まれた領域を素子形成領域1041としている。それは、この領域は後述するように転位密度がすくなく、また結晶中の歪が等方的でない（異方性をもつ）ようになっている。つまり、ストライプに平行な方向には、基板1031とGaN膜1034との格子定数の差に起因する歪が残り、垂直な方向には歪が緩和されているからである。

【0094】このように、等方的でない歪を有するGaN膜の素子形成領域1041に例えば半導体レーザを形成したとすると、その歪の状態からしきい値電流の小さいものをつくることができる。

【0095】つぎに本発明者等が上記実施例方法により得たGaNエピタキシャル層の結晶品質について述べる。図36は比較のため、従来の二段階成長法により、面方位(0001)のα-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(サファイア)基板1031上に成長した厚さ5μmのGaNエピタキシャル層1033、1034の断面の透過電子顕微鏡像から得られた転位の分布を示している。

【0096】基板1031との界面1037から格子不整合による歪みが原因で一様に発生した転位1032はエピタキシャル成長方向に蛇行しながらエピタキシャル層表面に延びている。図中、途中から見えている、あるいは途中で消えている転位は、断面に垂直な方向に転位が延びているために透過電子顕微鏡の視野から外れているため、転位が消滅しているわけではない。透過電子顕微鏡像から転位密度を見積もると、10<sup>9</sup>/cm<sup>2</sup>以上の転位が一様に発生しており、エピタキシャル層に加わる格子歪みも面内で等方的である。

【0097】一方、本実施例によるところのGaNエピタキシャル層を図37を使って説明する。断面の透過電子顕微鏡像から得られた転位の分布も模式的に図37に示している。厚さ3μmまでにかんりの転位がストライ

プ状に形成されたアモルファス状のGaN膜1035の上の結晶欠陥の集中した部分に達していることがわかった。すなわち、ストライプの直行方向1039では歪みが緩和されるのに対して、平行な方向1040では歪みが結晶内に内在されやすい。従って、格子不整合による歪みがストライプに平行な方向1040に偏ったエピタキシャル層が得られる。

【0098】さらに別の効果として、ストライプとストライプとはさまれた素子形成領域1041の転位密度は10<sup>5</sup>/cm<sup>2</sup>以下と図36の従来例に比べきわめて結晶性の優れたGaN膜が得られていることがわかった。また歪についてもストライプに平行方向と垂直方向とで、異なることがわかった。つまり、素子形成領域1041は、等方的でない歪を有していることがわかった。

【0099】本実施例では、アモルファス状のGaN膜1035のストライプを基板上に形成した場合について説明したが、SiO<sub>2</sub>膜、SiN膜などの酸化膜層、窒化膜層を用いても同様の効果が得られる。

【0100】図38はこのSiO<sub>2</sub>膜を用いた場合の例であり、厚さ0.1μmのSiO<sub>2</sub>膜1038でストライプを形成した基板上に、この実施例と同様の方法で、GaN膜1033、1034の選択成長を行った。この場合も同様に格子不整合による歪みがストライプに平行な方向に偏ったエピタキシャル層が得られた。さらにGaN膜は、SiO<sub>2</sub>膜の上には成長しないので(選択成長)、この方法によるGaN膜は島状(アイランド状)に形成されることになる。この島状のGaN膜1034の歪の状態も、ストライプに平行な方向では歪が残り、ストライプに垂直な方向では歪が緩和されるのでGaN膜歪は小さくなり、等方的でない歪の状態が実現できる。

【0101】また、本実施例は、面方位(0001)のα-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(サファイア)基板上へのGaNエピタキシャル成長について述べたが、本発明はこの実施例方法に限定されるものではなく、その他あらゆる格子不整合系のエピタキシャル成長において実施でき、同様の効果を得られるものである。

【0102】この実施例では、GaN膜1035のストライプは複数形成しているが、少なくとも1つあれば、素子形成領域のGaN膜の歪は等方的でないものが実現できる。とくにストライプの近くはかならず等方的でない歪が存在するからである。

【0103】また、基板上にGaN膜を成長するには2段階成長方法を用いているが、GaN膜1033を成長せずに、GaN膜1034を基板上に直接成長してもよい。

【0104】以上より、本発明による方法が格子不整合系のエピタキシャル成長において、格子不整合により発生する格子歪みを特定の方位に集中させることを特徴とするエピタキシャルを得るのに十分有効であることが、

実証された。

【0105】（実施例14）本発明の一実施例である半導体発光装置を図面とともに説明する。この実施例の特徴は、形状記憶合金を用いて、半導体発光素子の側面に物理的に応力を印加し、活性層に歪を導入するところである。

【0106】図32に示すように、凹部1403を有し、Cu-Ni-Al系合金からなる形状記憶合金1404を用意する。この凹部1403の幅は、 $480\mu\text{m}$ であり、半導体発光素子の幅よりも僅かに小さくなっている。この凹部1403の表面は、半導体発光素子が設置されるために、薄く絶縁化処理がなされ、発光素子が短絡しないようになっている。

【0107】まず、この凹部1403を機械的に広げる。そして、後述する半導体発光素子1402をこの凹部に設置して加熱室に入れる。この加熱室で、 $80^\circ\text{C}$ まで温度を上昇させると、形状記憶合金も加熱され、もとの形状に戻ることになる。もとの凹部にもどることで、半導体発光素子1402には、ストライプ方向と垂直なx方向に応力が印加され、その結果、活性層のc面内で、一軸方向（ストライプ方向に垂直方向、つまりx方向）に歪を導入することができ、この発光素子のしきい値電流を小さくすることができる。

【0108】形状記憶合金の凹部1403の開口の大きさは、あらかじめ一定の大きさに決まっているので、発光素子にかかる応力もその開口部の大きさによって決定される。また発光素子を実装するために凹部を広げても、加熱するだけでもとの状態にもどるので、実装も容易である。この半導体発光素子を実装したものを半導体発光装置1401としている。

【0109】次に、この半導体発光素子について説明する。この発光素子は有機金属気相成長法を用いた以下の方法により製造される。

【0110】まず、よく洗浄した(0001)サファイア基板(c面)を反応容器内のサセプタにセットし、反応容器内を水素雰囲気にしたのち、基板の温度を $1080^\circ\text{C}$ にまで上昇させ、基板のクリーニングをおこなう。

【0111】続いて、温度を $505^\circ\text{C}$ まで下げ、原料ガスとして、アンモニア4リットル/分、トリメチルガリウムを $30\times 10^{-6}$ モル/分、キャリアガスとして水素を2リットル/分、流しながら基板上にGa<sub>0.14</sub>N<sub>0.86</sub>層を成長させる。

【0112】その後、トリメチルガリウムを止めて、温度を $1080^\circ\text{C}$ まで上昇させ、トリメチルガリウム $50\times 10^{-6}$ モル/分、シランガスを $2\times 10^{-9}$ モル/分を流し、シリコンドーパドn型Ga<sub>0.14</sub>N<sub>0.86</sub>層を成長させる。

【0113】n型Ga<sub>0.14</sub>N<sub>0.86</sub>層の成長後、原料ガスを止め、基板温度を $800^\circ\text{C}$ にして、キャリアガスを水素から窒素に替え、窒素を2リットル/分、原料ガスとしては、トリメチルガリウムを $2\times 10^{-6}$ モル/分、トリメチル

インジウムを $1\times 10^{-5}$ モル/分、ジエチルカドミウムを $2\times 10^{-6}$ モル/分、アンモニアを4リットル/分を流しながら、カドミウムドーパドIn<sub>0.14</sub>Ga<sub>0.86</sub>N層を成長させる。

【0114】カドミウムドーパドIn<sub>0.14</sub>Ga<sub>0.86</sub>N層を成長後、原料ガスを止め、温度を $1080^\circ\text{C}$ まで上昇させ、トリメチルガリウムを $50\times 10^{-6}$ 、シクロペンタジエニルマグネシウムを $3.6\times 10^{-6}$ モル/分、アンモニアを4リットル/分を流し、p型Ga<sub>0.14</sub>N<sub>0.86</sub>層を成長させる。

【0115】以上のようにして得られた半導体発光素子のp型Ga<sub>0.14</sub>N<sub>0.86</sub>層、およびn型In<sub>0.14</sub>Ga<sub>0.86</sub>N層の一部をエッチングにより取り除き、n型Ga<sub>0.14</sub>N<sub>0.86</sub>層を露出させ、p型Ga<sub>0.14</sub>N<sub>0.86</sub>層、およびn型Ga<sub>0.14</sub>N<sub>0.86</sub>層にp型、n型オーミック電極を設けた。本実施例は、この半導体発光素子を用いて実装している。次の実施例もこの半導体発光素子を用いて実装したものである。

【0116】（実施例15）この実施例は、半導体発光素子に機械的に応力をかけた半導体発光装置である。実施例14で示した半導体発光素子に対して側面から応力をかける方法である。

【0117】図33に示すように、この半導体発光素子は(0001)面(c面)上に六方晶化合物半導体であるAlGaInN系結晶を成長させているので、c面内に一軸方向((a)のy方向)の歪を導入すべく半導体発光素子の側面から応力を印加している。

【0118】応力印加容器1503内に半導体発光素子1502をセットし、その側面から応力を徐々に印加していく。応力の大きさは、ハンドル1504を回すことにより調節可能になっている。

【0119】図33(a)では、半導体発光素子1502の基板に(0001)面のサファイア基板を用いたが、例えばR面を基板に用いて、この基板上にAlGaInN系の結晶を成長させた半導体発光素子を用いれば、図33(b)のように、基板に対して垂直方向(y方向)から応力を印加することができる。これは、c軸方向に歪を導入しても、価電子帯の状態密度を小さくすることはできないが、c面内で等方的でない歪を導入すれば価電子帯の状態密度を飛躍的に小さくできることによる。基板にR面を用いれば、c軸は図33(b)に示した方向を向いているので、基板に垂直(y方向)に応力を印加してもc面内に等方的でない歪を導入できるのである。もちろん先ほど(a)で説明したように、R面上に成長した半導体発光素子の側面から応力をかけることでも、c面内で等方的でない歪を導入することができる。

【0120】この実施例の方法によれば、半導体発光素子のc面内に等方的でない歪を機械的に導入できるので、価電子帯の状態密度を小さくでき、レーザ発振するためのしきい値電流を飛躍的に下げることができる。



【0121】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、六方晶化合物半導体のc面内に等方的でない（異方的な）歪を加えた場合、価電子帯上端付近のホールの有効質量が小さくなるということにもとづき、c軸方向に成長させた六方晶化合物半導体から構成されている活性層のc面内に等方的でない（異方的な）歪を入れることにより、しきい値電流が低い半導体発光素子を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 AlGa<sub>1-x</sub>N/GaN量子井戸におけるGaN層の価電子帯の電子帯構造を示す図

【図2】 c面内に等方的でない歪が加わった場合のAlGa<sub>1-x</sub>N/GaN量子井戸におけるGaN層の価電子帯の電子帯構造を示す図

【図3】 c面内に等方的でない（異方的な）歪が加わった場合のしきい値電流密度の歪依存性を示す図

【図4】 本発明の一実施例の半導体発光素子の構造図

【図5】 本発明の一実施例の半導体発光素子の製造工程断面図

【図6】 本発明の一実施例の半導体発光素子の構造図

【図7】 本発明の一実施例の半導体発光素子の形状を示す図

【図8】 本発明の一実施例の半導体発光素子の構造図

【図9】 本発明の一実施例の半導体発光素子の製造方法を示す一工程図

【図10】 第2の実施例を示すウルツ鉱型InGa<sub>1-x</sub>N/AlGa<sub>1-x</sub>N量子井戸半導体レーザの素子断面図

【図11】 LiTaO<sub>3</sub>基板上の直行する2つの結晶方位を示す図

【図12】 LiTaO<sub>3</sub>基板が(1100)面から(0001)方向、あるいは(1120)方向へ傾斜した状態を示す図

【図13】 第3の実施例を示すウルツ鉱型InGa<sub>1-x</sub>N/AlGa<sub>1-x</sub>N量子井戸半導体レーザの素子断面図

【図14】 p-Al<sub>1-z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N歪導入層の周囲に局部的に導入される歪を示す図

【図15】 LiTaO<sub>3</sub>とGaNとの熱膨張係数の比較図

【図16】 本発明の実施例の半導体レーザの作製方法を示す構成斜視図

【図17】 本発明の一実施例のサブマウントの構造図

【図18】 本発明の別の実施例の半導体レーザの作製方法を示す構成図

【図19】 本発明の半導体レーザを実装するサブマウントの断面図

【図20】 本発明の半導体レーザを実装する別のサブマウントの図

【図21】 本発明の別の実施例の半導体レーザの作製方法を示す構成断面図

【図22】 本発明の一実施例の半導体レーザの作製方法を示す構成断面図

【図23】 本発明の一実施例の製造方法によるAlGaInN系半導体発光素子の製造工程図

【図24】 本発明の一実施例の製造方法によるAlGaInN系半導体発光素子の製造工程図

【図25】 選択的にレーザ照射を行う気相成長の工程図、および選択的にレーザ照射を行う気相成長法によって作製したGaN結晶の格子定数の関係を示す図

10 【図26】 レーザ照射強度とGaN格子定数の関係を示す図

【図27】 選択的にレーザ照射を行う気相成長の工程図

【図28】 本発明の実施例11における半導体装置の製造工程の模式断面図

【図29】 本発明の実施例11における半導体装置の模式断面図および活性層の結晶構造の模式図

【図30】 本発明の実施例12における半導体装置の製造工程の模式図

20 【図31】 本発明の実施例12におけるGaN螺旋状薄膜の単位胞の模式図

【図32】 本発明の実施例14における半導体発光装置の構成斜視図

【図33】 本発明の実施例15における半導体発光装置の構成断面図

【図34】 本発明の実施例13における成長装置の構造断面図

【図35】 本発明の実施例13における結晶成長の工程断面図

30 【図36】 本発明の実施例13との比較における2段成長後の構造断面図

【図37】 本発明の実施例13における結晶成長後の構造斜視図

【図38】 本発明の実施例13のSiO<sub>2</sub>膜を用いた場合の構造断面図

【符号の説明】

100 AlGaInN発光層

101 サファイア基板

102 ストライプ状の溝

103 サファイア基板

40 104 マスク

105 溝

106 AlN埋込み層

107 AlGaInN発光層

108 サファイア基板

109 酸化膜

110 サファイア基板

111 酸化膜

112 SiC基板

113 Ni層

50 114 第一のAu層

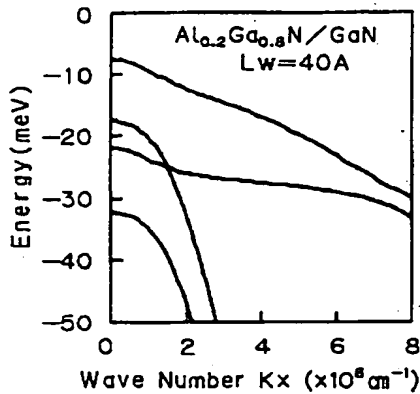
115 第二のAu層  
 116 AlGaInN発光素子層  
 117 サファイア基板  
 118 とめ治具  
 119 トレイ  
 201 LiTaO<sub>3</sub>基板  
 202 AlNバッファ層  
 203 n-Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>Nクラッド層  
 204 Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N 第1光ガイド層  
 205 In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/GaN多重量子井戸活性層  
 206 Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N 第2光ガイド層  
 207 p-Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>Nクラッド層  
 208 リッジストライプ  
 209 SiO<sub>2</sub>絶縁膜  
 210 SiO<sub>2</sub>絶縁膜の開口部  
 211 SiO<sub>2</sub>絶縁膜の開口部  
 212 アノード電極  
 213 カソード電極  
 301 (0001) サファイア基板  
 302 AlNバッファ層  
 303 n-Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>Nクラッド層  
 304 Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N 第1光ガイド層  
 305 In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/GaN多重量子井戸活性層  
 306 Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N 第2光ガイド層  
 307 p-Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N第1クラッド層  
 308 p-Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N第2クラッド層  
 309 p-Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N第2クラッド層  
 310 SiO<sub>2</sub>絶縁膜  
 311 開口部  
 312 開口部  
 313 アノード電極  
 314 カソード電極  
 401 半導体レーザ  
 402 サブマウント  
 403 LiTaO<sub>3</sub>  
 404 ハンダ材  
 501 半導体レーザ  
 502 サブマウント  
 503 Fe-Ni合金  
 504 Fe-Ni-Mn合金  
 505 Pb-Snハンダ材  
 551 半導体レーザ  
 552 サブマウント  
 553 加重用コレット  
 554 紫外線硬化樹脂  
 555 サブマウント  
 556 加重用板板バネ  
 557 加重用ネジ  
 601 6H-SiC基板  
 602 AlN層

603 AlN層  
 604 n型AlGaInNクラッド層  
 605 AlGaInN活性層  
 606 p型AlGaInNクラッド層  
 607 p側電極  
 608 n側電極  
 651 6H-SiC基板  
 652 AlN層  
 653 AlN層  
 654 n型AlGaInNクラッド層  
 655 AlGaInN活性層  
 656 p型AlGaInNクラッド層  
 657 p側電極  
 658 n側電極  
 801 サファイア基板  
 802 GaN結晶層  
 803 GaN結晶層  
 804 GaN結晶層  
 805 GaN結晶層  
 1011 反応管  
 1012 ガス導入管  
 1013 サセプタ  
 1014 試料基板  
 1015 高周波コイル  
 1016 熱伝対  
 1017 ガス導入口  
 1018 真空ポンプ  
 1031 サファイア基板  
 1032 転位  
 1033 GaNエピタキシャル層  
 1034 GaNエピタキシャル層  
 1035 アモルファス状のGaN膜  
 1036 アモルファス状のGaN膜  
 1037 界面  
 1038 SiO<sub>2</sub>膜  
 1039 ストライプと直行方向  
 1040 ストライプと平行方向  
 1041 素子形成領域  
 1101 サファイア基板  
 1102 AlGaNクラッド層  
 1103 n型AlInGaNクラッド層  
 1104 InGaN活性層  
 1105 p型AlInGaNクラッド層  
 1106 絶縁膜  
 1107 活性層の格子定数の模式図  
 1108 活性層の格子定数の模式図  
 1201 サファイア基板  
 1202 GaN結晶の成長核  
 1203 GaN螺旋状薄膜層  
 1204 GaN螺旋状薄膜層の単位胞

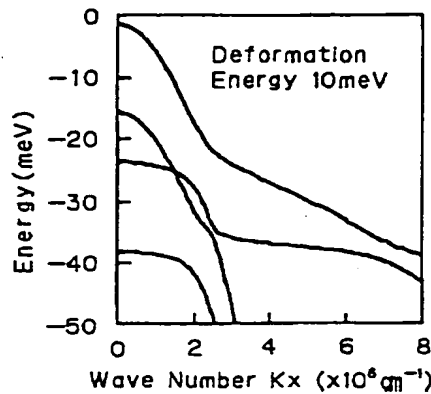
- 1205 n型AlGaInクラッド層
- 1206 InGaIn活性層
- 1207 p型AlGaInクラッド層
- 1401 半導体発光装置
- 1402 半導体発光素子
- 1403 凹部

- 1404 形状記憶合金
- 1501 半導体発光装置
- 1502 半導体発光素子
- 1503 応力印加容器
- 1504 ハンドル

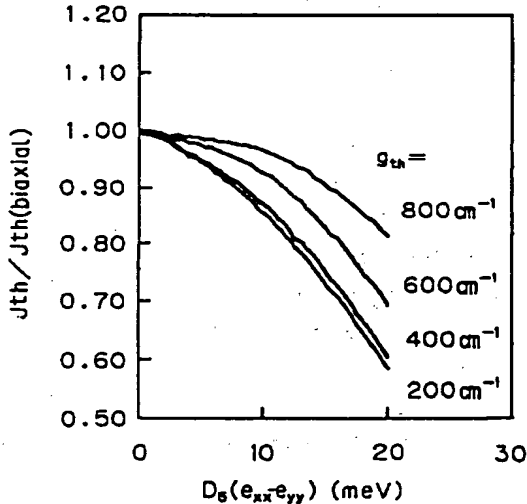
【図1】



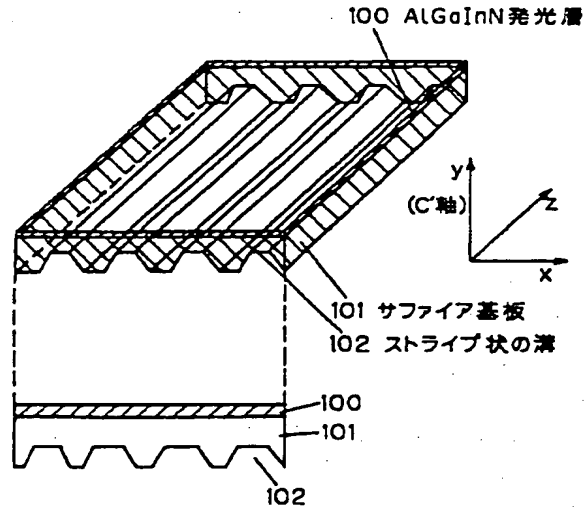
【図2】



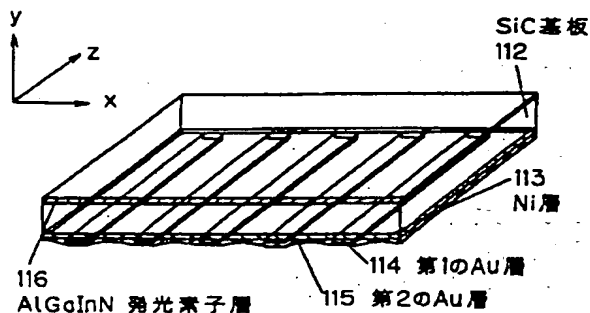
【図3】



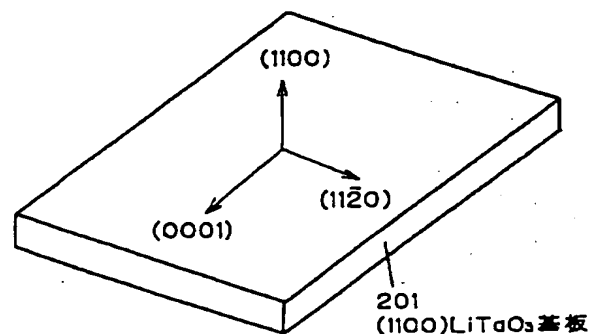
【図4】



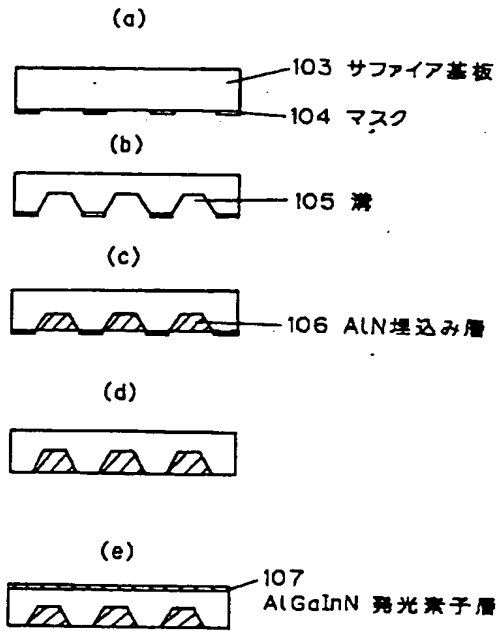
【図8】



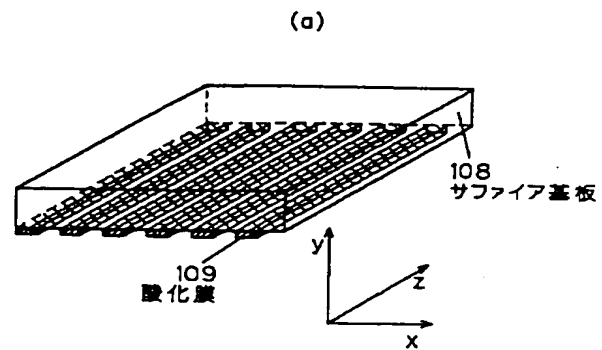
【図11】



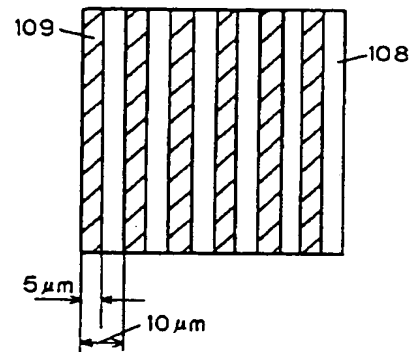
【図5】



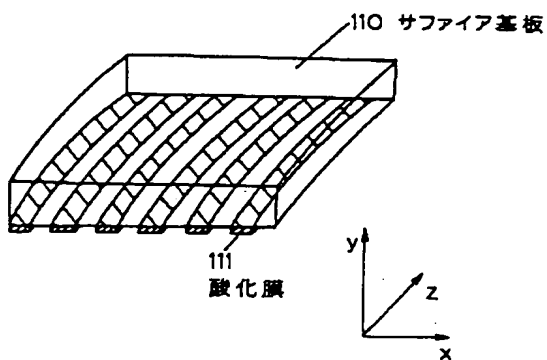
【図6】



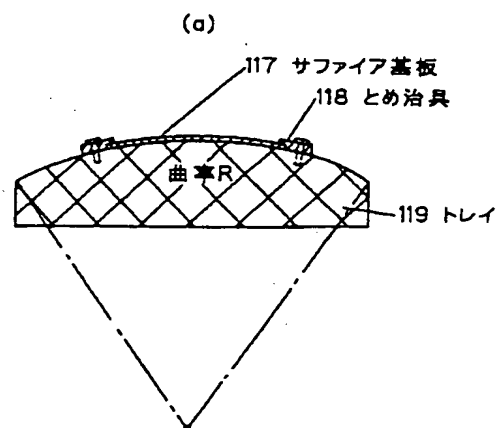
(b)



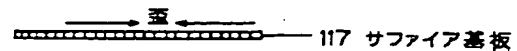
【図7】



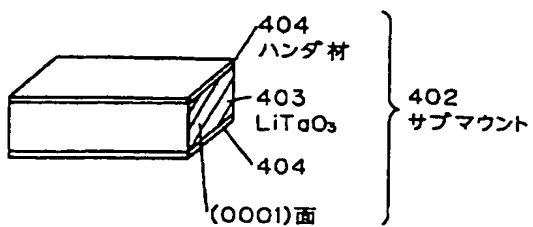
【図9】



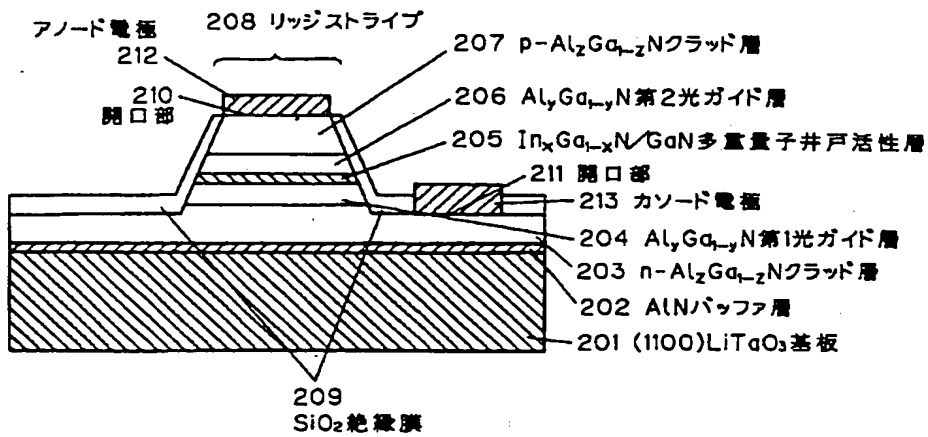
(b)



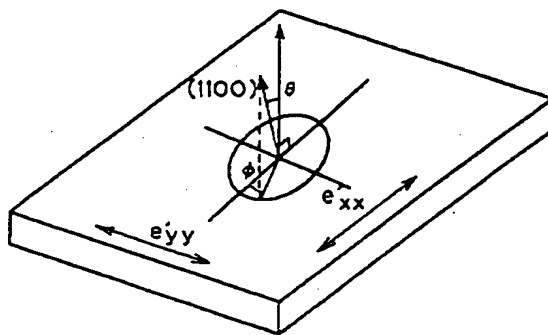
【図17】



【図10】



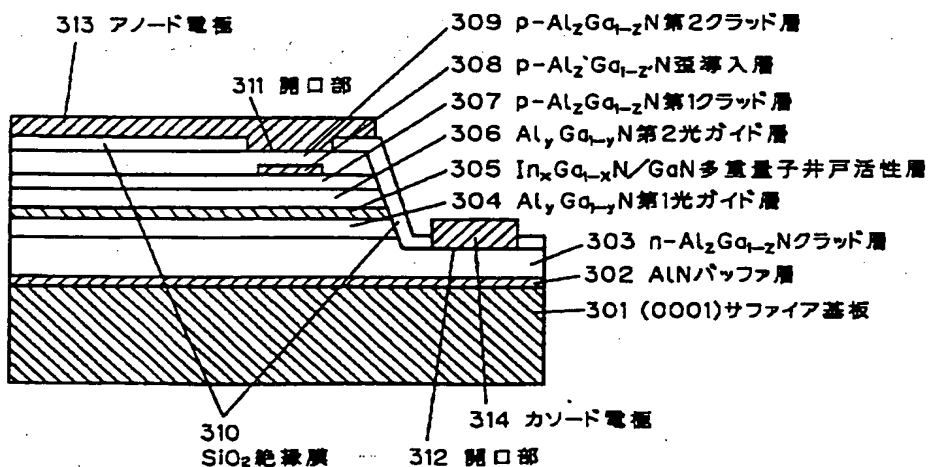
【図12】



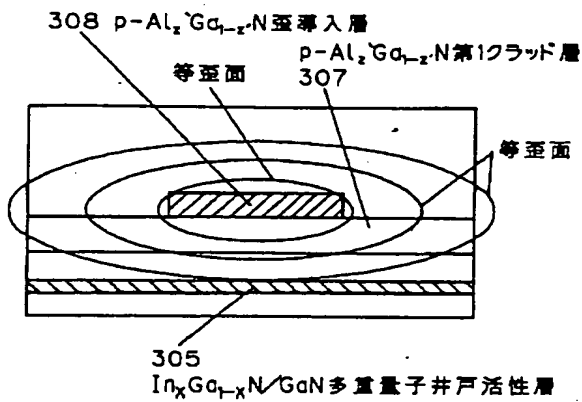
【図15】

材料	熱膨張係数
LiTaO <sub>3</sub>	$1.2 \times 10^{-6}$ (0001)
	$2.2 \times 10^{-5}$ (11 $\bar{2}$ 0)
GaN	$5.6 \times 10^{-6}$

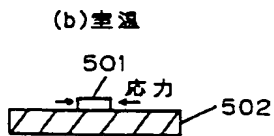
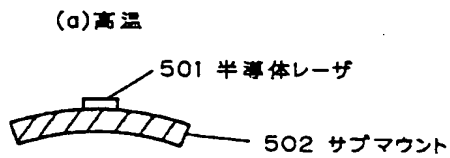
【図13】



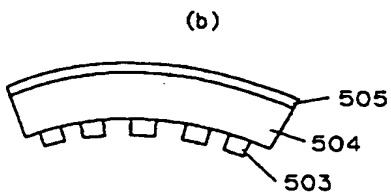
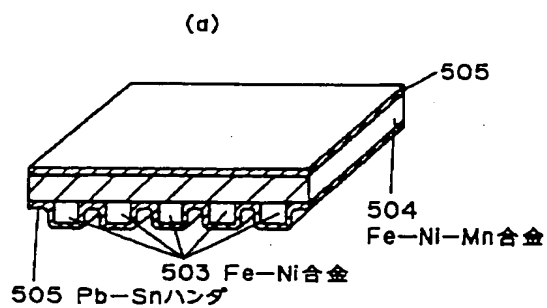
【図14】



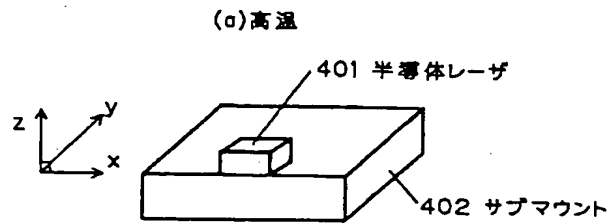
【図18】



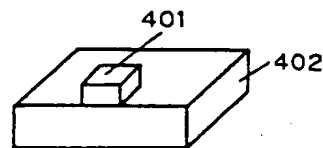
【図20】



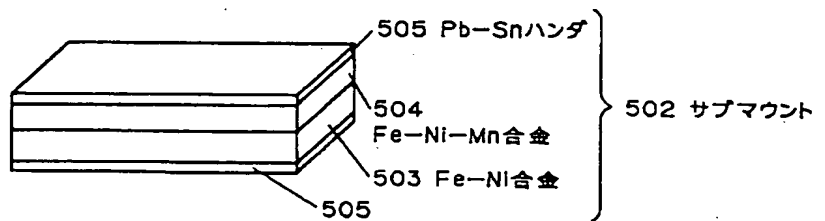
【図16】



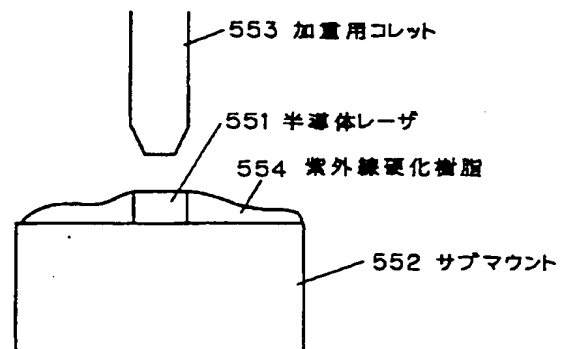
(b) 室温



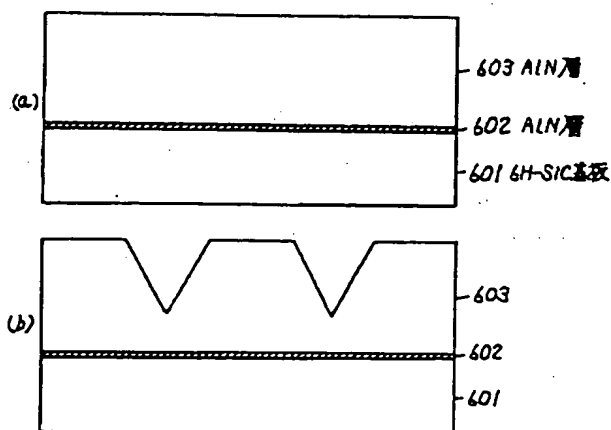
【図19】



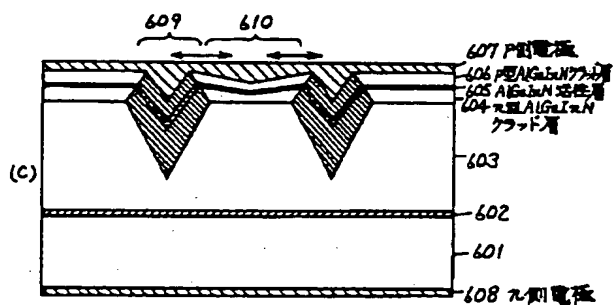
【図21】



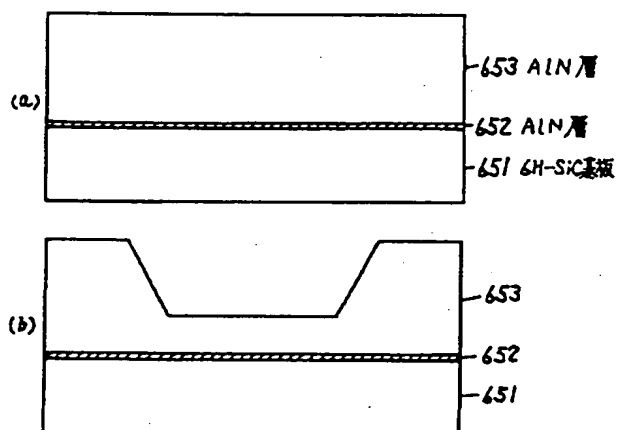
【图 2 3】



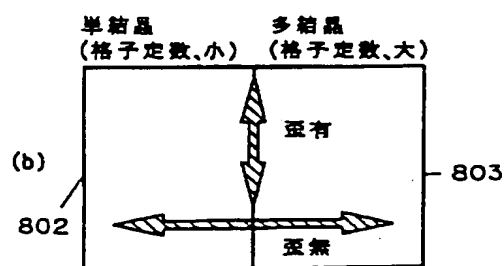
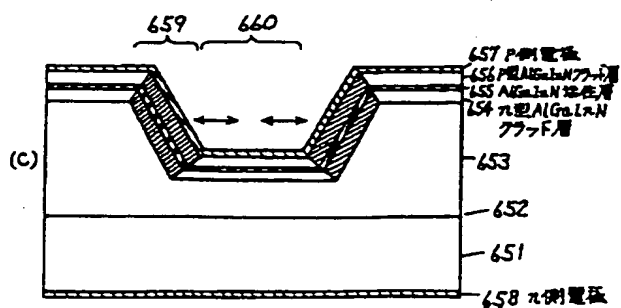
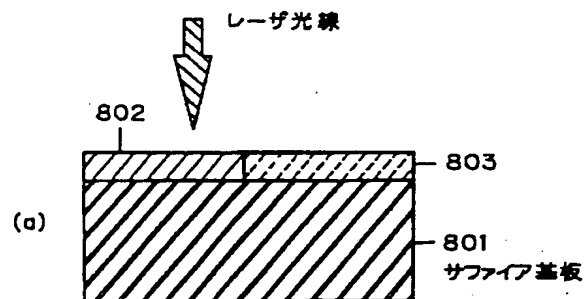
【图 27】



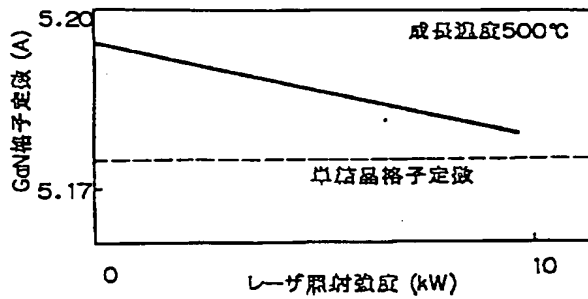
【图 2 4】



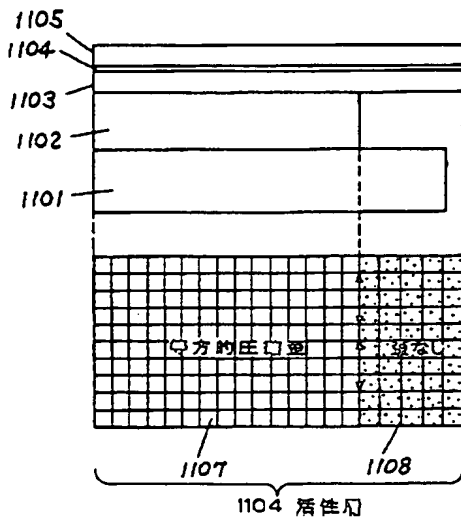
【图 2 5】



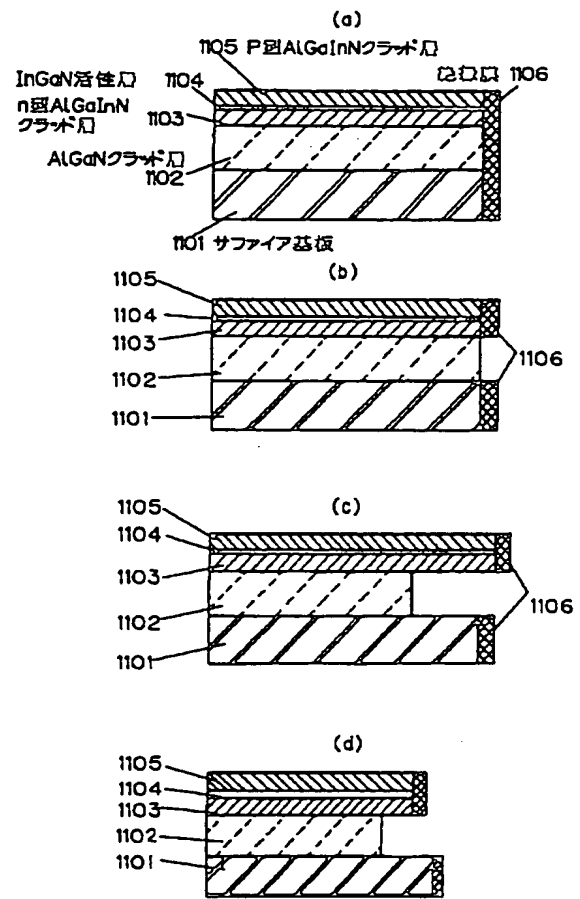
【図26】



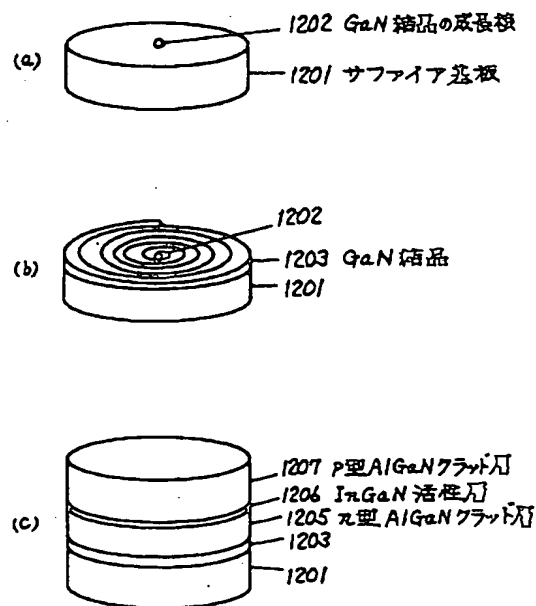
【図29】



【図28】

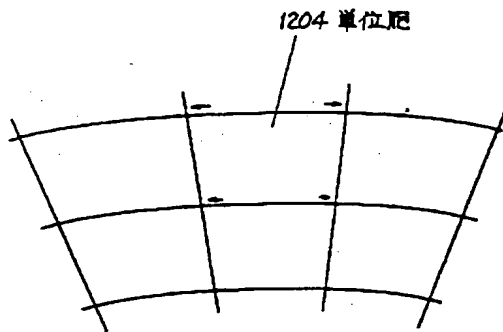


【図30】

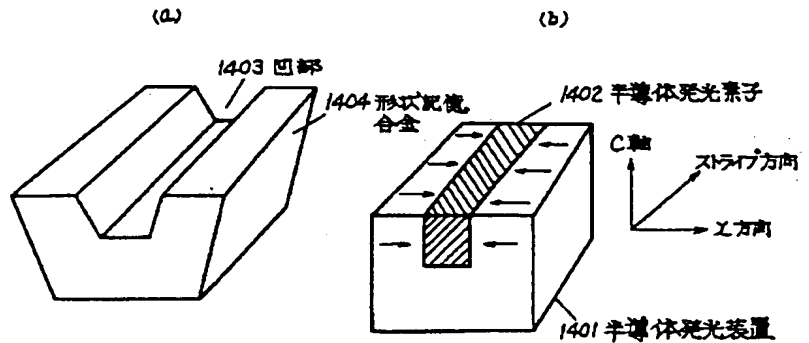




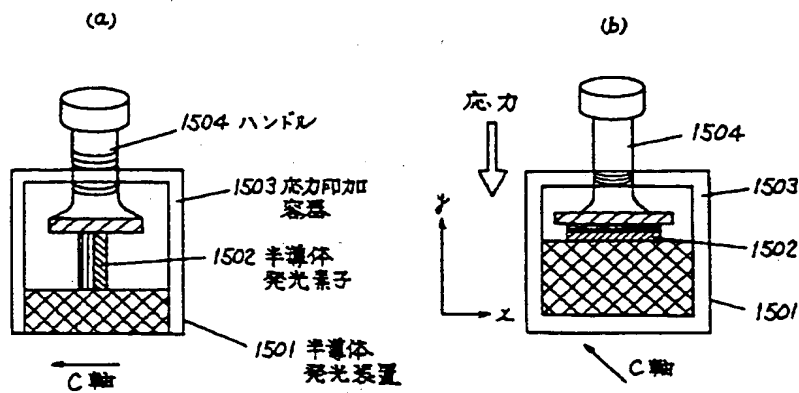
【図31】



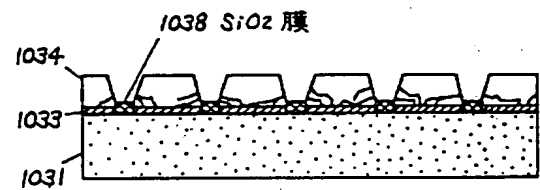
【図32】



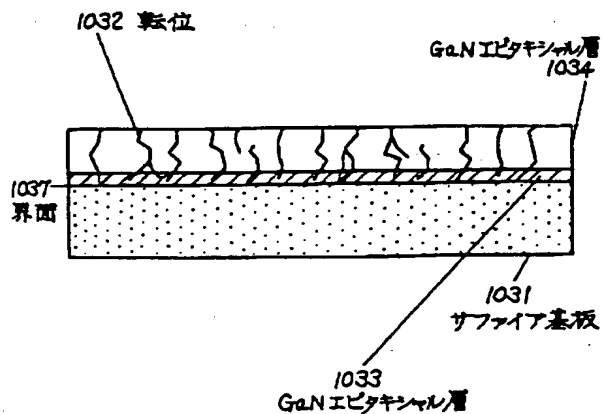
【図33】



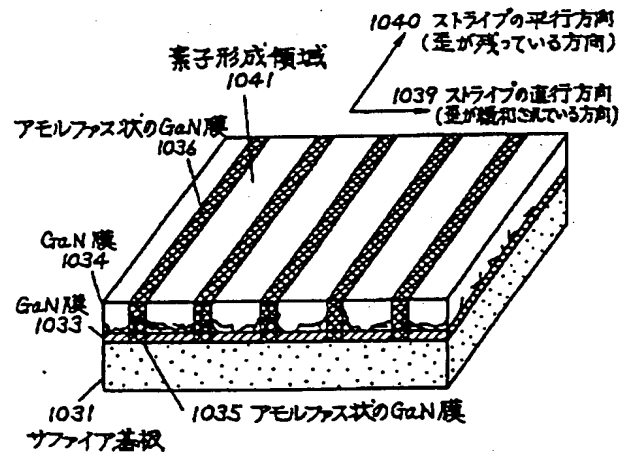
【図38】



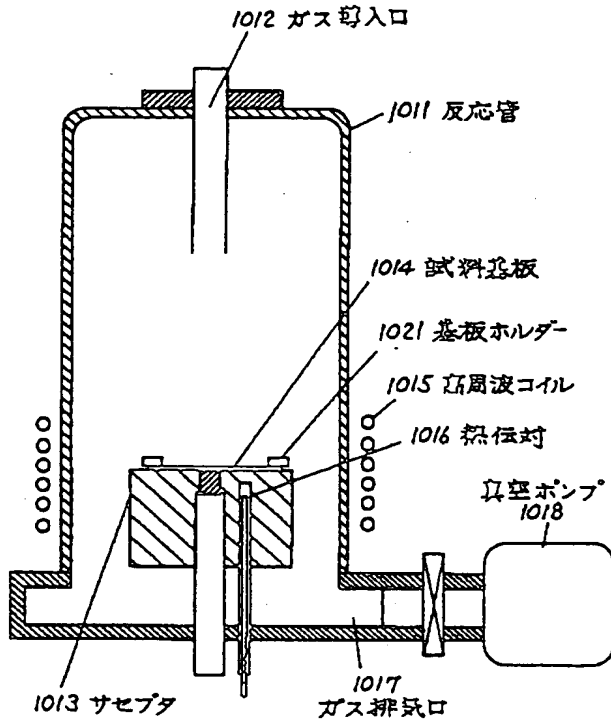
【図36】



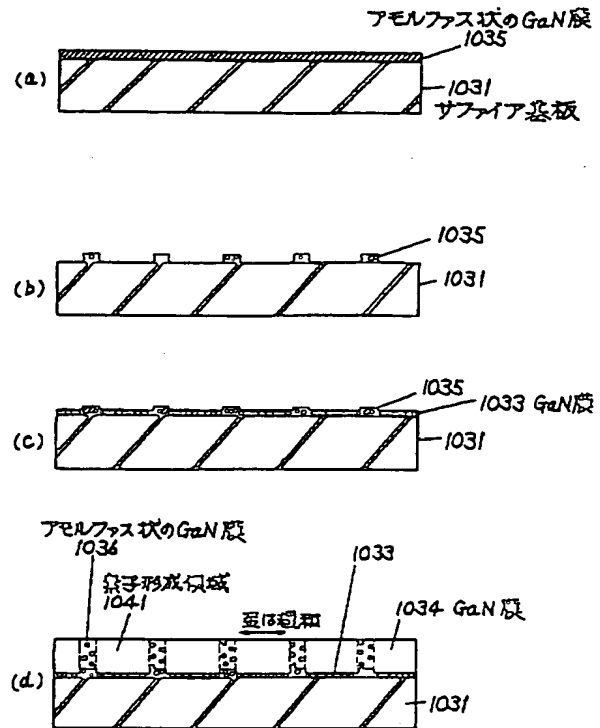
【図37】



【図34】



【図35】



## フロントページの続き

- (72)発明者 大仲 清司  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内
- (72)発明者 高森 晃  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内
- (72)発明者 萬瀬 正也  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内
- (72)発明者 木戸口 勲  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

- (72)発明者 足立 秀人  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内
- (72)発明者 石橋 明彦  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内
- (72)発明者 福久 敏哉  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内
- (72)発明者 熊淵 康仁  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内